

STUDII PRIVIND OPTIMIZAREA TEHNICII DE REVERSE ENGINEERING LA REALIZAREA PRODUSELOR INJECTATE DIN MATERIALE PLATICE

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea "Politehnica" din Timișoara
în domeniul INGINERIE INDUSTRIALĂ
de către

Ing. Cristian Cosma

Conducător științific:
Referenți științifici:

prof.univ.dr.ing. Tudor-Alexandru Iclănzan
prof.univ.dr.ing. Valeriu Jinescu
prof.univ.dr.ing. Petru Berce
prof.univ.dr.ing. Gheorghe Achimaș

Ziua susținerii tezei: 20.03.2008

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|------------------------|---|
| 1. Automatică | 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații |
| 2. Chimie | 8. Inginerie Industrială |
| 3. Energetică | 9. Inginerie Mecanică |
| 4. Ingineria Chimică | 10. Știința Calculatoarelor |
| 5. Inginerie Civilă | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 6. Inginerie Electrică | |

Universitatea „Politehnica” din Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2008

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității „Politehnica” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221
e-mail: editura@edipol.upt.ro

Cuvânt înainte

Lucrarea de față se înscrie în cadrul cercetărilor care au ca scop optimizarea tehnicii de Reverse Engineering în cazul concret al produselor din materiale plastice realizate prin procedeul injectării în matriță, folosind o platforma operațională realizată din echipamente suficient de performante, dar cu costuri accesibile..

Studiile teoretice și cercetările experimentale cuprinse în lucrare au fost realizate, sub conducerea d-lui prof.dr.ing. Tudor-Alexandru ICLĂNZAN, în cadrul *Bazei de Cercetare cu Utilizatori Multipli – Centrul de Dezvoltare în Plasturgie și extinderilor sale, Laboratorul de Prototipare Rapidă* din Universitatea „Politehnica” din Timișoara, care au asigurat baza materială pentru majoritatea încercărilor experimentale, precum și posibilitatea unei documentări corespunzătoare și finanțarea cercetărilor. În bună parte lucrările realizate în cadrul tezei au avut suportul logistic și financiar asigurat prin diferitele contracte de cercetare tutelate de CNCSIS sau Autoritatea Nationala de Cercetare științifică.

Metodologia de lucru, axată pe integrarea unor tehnici moderne de Reverse Engineering, Prototipare Rapidă, CAD-CAM, face ca teza de doctorat să fie o reușită și să se înscrie printre cercetările de reală valoare și actualitate științifică care evidențiază un aport substanțial în planul cunoașterii științifice, dar și în planul aplicațiilor practice remarcându-se prin contribuții originale, cu un ridicat aport inventiv.

Lucrarea se adresează specialiștilor din întreprinderile mici și mijlocii, dar și celor din universități și studenților.

Ing. Cristian Cosma

Cosma, Cristian

Studii privind optimizarea tehnicii de Reverse Engineering la realizarea produselor injectate din materiale plastice

Teze de doctorat ale UPT, Seria 8, Nr.8, Editura Politehnica, 2008, 150 pagini, 126 figuri, 15 tabele, 5 anexe (13 pagini).

ISSN: 1842-8967

ISBN: 978-973-625-612-7

Cuvinte cheie:

reverse engineering, materiale plastice, prototipare rapidă, măsurări tridimensionale, scanare, CAD-CAM

Rezumat:

Tehnica Reverse Engineering (RE) este unul din instrumentele de lucru ale Ingineriei Integrate care permite optimizarea concepției și realizării produselor astfel încât dezideratul producției flexibile cu cheltuieli minime, de calitate și oferită în termene cât mai scurte beneficiarilor să devină tot mai mult o realitate palpabilă. Pentru produsele realizate din materiale plastice prin injectare, cât și pentru matrițele cu configurație complexă a cavităților posibilitatea utilizării tehnicilor de Reverse Engineering, Prototipare Rapidă sau chiar Rapid Tooling reprezintă o oportunitate de mare interes.

În contextul și problematica de mai sus, obiectivul asumat al prezentei teze de doctorat a fost acela de a studia optimizarea tehnicii de Reverse Engineering în cazul concret al produselor din materiale plastice realizate prin procedeul injectării în matriță folosind o platformă operațională realizată din echipamente suficient de performante, dar cu costuri accesibile.

Ca și mod de rezolvare s-a avut în vedere utilizarea unei platforme de lucru formată dintr-o mașină de prototipare rapidă prin îndepărtare de material (Subtractive Rapid Prototyping) tip ISEL, asociată cu o mașină de măsurat tridimensional (MMT) tip TESA 3D cu acționare manuală și cu o mașină de scanat și frezat Modela, și cu resurse software uzuale și accesibile (RapidForm, 3DReshaper, I-know Molding, EdgeCam).

CUPRINS

INTRODUCERE	7
Capitolul 1 - PRODUSE INJECTATE DIN MATERIALE PLASTICE. CARACTERIZARE GENERALĂ.	
1.1 Materiale Plastice – Proprietăți fundamentale	10
1.2 Prelucrarea materialelor plastice prin injectare	14
1.2.1 Defecte tipice de injectare	16
1.3 Precizia și stabilitatea dimensională	19
1.3.1 Definierea preciziei și stabilității dimensionale	20
1.4 Influența toleranțelor	25
1.4.1 Toleranțele și implicațiile lor în cost	26
1.5 Elemente legate de proiectarea matriței	27
1.6 Concluzii	30
Capitolul 2 - CONCEPTUL ȘI TEHNICA DE REVERSE ENGINEERING	
2.1 Principiul Reverse Engineering	31
2.2 Nevoia de Reverse Engineering și rolul acestuia	32
2.3 Factorii care influențează tehnica de Reverse Engineering	37
2.4 Aplicațiile RE	38
2.5 Concluzii	40
Capitolul 3 - TEHNICI DE SCANARE ȘI PROTOTIPARE RAPIDĂ PENTRU PIESE INJECTATE DIN MATERIALE PLASTICE	
3.1 Tehnici de scanare 3D	41
3.1.1 Digitizarea 3D	41
3.1.2 Impactul tehnologiei scanării 3D asupra dezvoltării produsului	42
3.1.3 Digitizarea și aplicațiile industriale	45
3.1.4 Tipuri de palpatoare	46
3.1.4.1 <i>Structura și principiul de funcționare al unui palpator cu contact</i>	46
3.2 Prototiparea rapidă	50
3.2.1 Conceptul de Prototipare Rapidă	50
3.2.2 Tehnici de Prototipare Rapidă	51
3.2.3 Prototiparea Rapidă prin prelevare de material – frezare	60
3.2.4 Noțiuni legate de piesa prototip	62
3.2.4.1 <i>Definierea piesei prototip</i>	62
3.2.4.2 <i>Piese prototip</i>	63
3.2.4.3 <i>Rolul piesei prototip în cazul matrițelor de injectat</i>	64
3.3 Concluzii	67
Capitolul 4 - CERCETĂRI PRIVIND ADAPTAREA UNEI PLATFORME OPERAȚIONALE PENTRU REALIZAREA TEHNICII DE REVERSE ENGINEERING	
4.1 Echipamente hard și soft folosite pentru studiul tehnicilor de reverse engineering	68
4.2 Cercetări privind ameliorarea facilităților tehnice ale echipamentelor	73

6 Cuprins

4.2.1	Determinarea repetabilității și reproductibilității mașinii de măsurat tridimensional	73
4.2.1.1	<i>Planificarea experimentului</i>	73
4.2.1.2	<i>Rezultate experimentale</i>	74
4.2.1.3	<i>Interpretare rezultate</i>	80
4.2.2	Realizarea post-procesorului pentru mașina de prototipat rapid ISEL	81
4.2.2.1	<i>Introducere</i>	81
4.2.2.2	<i>Considerații despre limbajul ISO și APT</i>	82
4.2.2.3	<i>Ce este un postprocesor?</i>	83
4.2.2.4	<i>Realizarea postprocesorului</i>	83
4.3	Concluzii	90
Capitolul 5 - CERCETĂRI PRIVIND APLICAREA TEHNICII DE REVERSE ENGINEERING PENTRU PRODUSE INJECTATE		
5.1	Obiectivele cercetării	91
5.1.1	Platforma operațională	91
5.2	Studiul posibilităților de utilizare a opțiunii "Mold Tool" pentru modelarea geometrică a cavităților matrițelor de injectare sub mediul "Solid Works 2006"	93
5.2.1	Considerații generale	93
5.2.2	Studiu de caz pentru reperul "Mouse"	94
5.2.3	Utilizarea opțiunii "MoldflowXpress" pentru modelarea umplerii matriței la injectare	97
5.3	Strategii de obținere a unei piese prototip	101
5.3.1	Studiu de caz pentru prelucrarea unei cavități de matriță	101
5.4	Concluzii	114
Capitolul 6 - STUDIUL UNOR MODELE DE AMELIORARE A PRODUSELOR REZULTATE DIN PROCESELE DE INJECTARE		
6.1	Metodologia de realizare a modelelor geometrice pornind de la piese scanate	115
6.1.1	Studiu de caz pentru scanarea piesei „digitizator mouse”	116
6.2	Controlul dimensional al modelelor geometrice obținute în urma scanării	133
6.3	Realizarea fizică prin prototipare a modelului digitizator mouse	141
6.4	Concluzii	142
CONCLUZII, CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE		143
BIBLIOGRAFIE		146
ANEXE		

INTRODUCERE

Tehnica Reverse Engineering (RE) este unul din instrumentele de lucru ale Ingineriei Integrate care permite optimizarea concepției și realizării produselor astfel încât dezideratul producției flexibile cu cheltuieli minime, de calitate și oferită în termene cât mai scurte beneficiarilor să devină tot mai mult o realitate palpabilă. Această tehnică, de dată recentă în sensul definit de sistemele moderne de producție, are încă o aplicare relativ limitată fiind accesibilă în special specialiștilor din marile universități și unități industriale care au cunoștințe și proceduri deja structurate și mai ales care își pot permite accesul la echipamente și facilități moderne, dar încă costisitoare. Pentru mulți specialiști tehnica Reverse Engineering și mai ales pentru cei din întreprinderi mici și mijlocii sau chiar universități pare încă o alternativă exotică deși avantajele oferite de ea sunt evidente. Deși în USA practica folosirii tehnicii de Reverse Engineering ia amploare pe zi ce trece în Europa prezența ei este sporadic marcată ca instrument de lucru, iar în România pare a fi încă în faza de explorare. În lipsa unor informații suficient de concludente din mediul industrial datele existente arată că în institute de cercetare și universități deși este tratată cu interes ea se afla la început de drum. În România publicațiile științifice nu semnalează în prezent lucrări structurate pe această temă în afara câtorva articole publicate sau susținute la conferințe de universitari sau specialiști din cercetare. Una din limitările dezvoltării acestor preocupări o reprezintă și faptul că multe din tehnicile de Reverse Engineering complet dezvoltate presupun echipamente costisitoare (mașini de scanat și măsurat tridimensional, mașini de prototipare rapidă, calculatoare cu resurse hard și soft considerabile, etc).

Pe de altă parte, în ultimii ani sectorul industrial destinat realizării produselor din materiale plastice și compozite (plasturgie) este marcat de ritmuri susținute de dezvoltare ceea ce face ca odată la 5 ani volumul activităților specifice lui să se dubleze. În cadrul acestui sector de activitate procedeul prelucrării pieselor prin injectare este pe de parte predominant, și în ciuda unor tehnologii relativ bine puse la punct, continuă să suscite interes pentru cercetare datorită unor particularități. Acestea au în vedere în special două aspecte și anume, proprietățile reologice ale pieselor din materiale plastice atât în exploatare cât și în procesele de fabricație, ceea ce impune o abordare specială a concepției lor, iar pe de altă parte complexitatea deosebită și costul ridicat al matritelor de injectare (uneori de zeci de mii de Euro) la care se asociază și durata mare a asimilării în fabricație (3-6 luni).

Pentru produsele realizate din materiale plastice prin injectare, cât și pentru matritelor cu configurație complexă a cavităților posibilitatea utilizării tehnicilor de Reverse Engineering, Prototipare Rapidă sau chiar Rapid Tooling reprezintă o oportunitate de mare interes. La acestea trebuie să mai adăugăm faptul că în marea majoritate a cazurilor producția de produse din materiale plastice și compozite se realizează în întreprinderi mici și mijlocii pentru care accesul direct la ultimele realizări tehnice și tehnologice este relativ limitat datorită costurilor angajate. Există totuși o mare nevoie de progres, dar pe cât posibil în limita unor costuri și durate de timp rezonabile.

În contextul și problematica de mai sus, **obiectivul asumat al prezentei teze de doctorat a fost acela de a studia optimizarea tehnicii de Reverse Engineering în cazul concret al produselor din materiale plastice realizate**

prin procedeul injectării în matriță folosind o platforma operațională realizată din echipamente suficient de performante, dar cu costuri accesibile.

Ca și **mod de rezolvare** s-a avut în vedere utilizarea unei platforme de lucru formată dintr-o mașină de prototipare rapidă prin îndepărtare de material (Subtractive Rapid Prototyping) tip ISEL, asociată cu o mașină de măsurat tridimensional (MMT) tip TESA 3D cu acționare manuală și cu o mașină de scanat și frezat Modela, și cu resurse software uzuale și accesibile (RapidForm, 3DReshaper, I-know Molding, EdgeCam).

Optimizarea tehnicii de Reverse Engineering pe platforma de lucru mai sus definită a urmărit studiul pe piese de tip „free-form” sau pe piese a căror configurație le poate asigura specificul de piese referențiale. Totodată s-a urmărit ca în cadrul studiilor de optimizare să se facă adaptări constructive sau îmbunătățiri funcționale care să mărească capacitatea operațională a platformei de lucru și versatilitatea ei (experiment pentru determinarea repetabilității și reproductibilității mașinii de măsurat TESA 3D, respectiv scrierea postprocesorului pentru mașina de prototipat ISEL). S-a dorit ca această optimizare să conducă la o tehnică de lucru mult mai prietenoasă și mai accesibilă pentru utilizatorii nu numai din marile universități sau firme, ci și pentru cei din unități industriale mai mici, cercetători independenți, universitari, studenți sau chiar mici artizani.

Studiile teoretice și experimentale realizate au fost facilitate de dotările asigurate în cadrul programului Baze de Cercetare cu Utilizatori Multipli (proiect nr.21/97) în cadrul Centrului de Dezvoltare în Plasturgie, creat ca unitate de cercetare integrată funcțional și administrativ catedrei de TCM de la Universitatea POLITEHNICA din Timișoara. În bună parte lucrările realizate în cadrul tezei au avut suportul logistic și financiar asigurat prin diferitele contracte de cercetare tutelate de CNCISIS sau Autoritatea Nationala de Cercetare Științifică în cadrul proiectelor CNCISIS 85, Contract nr. 32940 tema 24/2004, tema 31/2005, Contract nr.A1/GR181/19.05.2006 tema 38, cod CNCISIS 201, CEEEX nr.41/2005, CEEEX Nr.130/2006, Nr. 71-133 /18.09.2007.

Teza de doctorat realizată în intervalul 2002-2007 este structurată pe 7 capitole cărora li se asociază și o documentație anexa (anexa1-anexa5, 13 pagini).

În capitolul 1 intitulat **“Produse injectate din materiale plastice. Caracterizare generală”** se face o prezentare sintetică și rezumativă relativă la cunoștințele de bază privind materialele plastice, specificul comportării lor și modul de prelucrare prin injectare în matriță. Se prezintă informații utile privind defectele tipice rezultate în procesul de injectare și o definiție a preciziei și stabilității dimensionale a pieselor obținute prin injectare.

Având în vedere criteriile de calitate și precizie tot mai des asociate pieselor din materiale plastice, în special a celor cu rol funcțional, special se face o scurtă analiză a influenței toleranțelor și implicațiilor în prețul de cost. În final se încheie cu câteva considerații privind elemente legate de proiectarea matriței având în vedere posibilitatea implicării tehnicii de RE pentru realizarea cavităților cu forme complexe. Rolul acestui scurt capitol relativ la materialele plastice a fost acela de a defini câteva repere care să explice anumite specificități ce pot apărea în tehnicile de RE folosite pentru produse din materiale plastice realizate prin injectare.

Capitolul 2 al lucrării, **“Conceptul și tehnica de Reverse Engineering”**, noțiuni legate de tehnicile de Reverse Engineering, un domeniu dezvoltat recent, care se afla la început și care abordează problema din sens invers tehnicilor tradiționale. Sunt prezentate aspecte privind conceptul de Reverse Engineering,

motivele folosirii acestei tehnici, precum și factorii care influențează această tehnică. În final se prezintă câteva aplicații folosite în industrie și care țin de această tehnică.

În capitolul 3, "**Tehnici de scanare și prototipare rapidă pentru piese injectate din materiale plastice**", sunt prezentate principalele tehnici de digitizare cu caracteristicile și domeniile de aplicație a fiecăreia. Sunt analizate o serie de aspecte privind tehnicile de prototipare rapidă prin depunere de material. O importanță deosebită este acordată tehnicii de prototipare rapidă prin prelevare de material (frezare), tehnică care face și obiectul cercetării, tocmai datorită raportului preț-calitate (precizie) bun.

Capitolul 4, "**Cercetări privind adaptarea unei platforme operaționale pentru realizarea tehnicii de Reverse Engineering**", prezintă principalele mijloace de lucru hard (mașina de scanat și frezat Modela MDX 15, mașina de măsurat tridimensional Tesa 3D și mașina de prototipat rapid Isel GFM 4433) și softurile (RapidForm, 3DReshaper, I-Know Molding și EdgeCam) folosite în cadrul lucrării. Toate acestea se regasesc în cadrul *Bazei de Cercetare cu Utilizatori Multipli – Centrul de Plasturgie* din Universitatea „Politehnica” din Timișoara. S-au realizat și cercetări privind ameliorarea facilităților tehnice ale echipamentelor, determinarea repetabilității și reproductibilității mașinii de măsurat tridimensional), precum și o metodologie de realizare a post-procesorului pentru mașina de prototipat rapid ISEL.

În capitolul 5, "**Cercetări privind aplicarea tehnicii de Reverse Engineering pentru produse injectate**", se prezintă platforma operațională de lucru (pe baza căreia, autorul și-a definit metodologia proprie de lucru) și sunt descriși pașii parcurși de autor pentru realizarea obiectivului principal. Tot în cadrul acestui capitol s-a realizat un studiu al posibilităților de utilizare a opțiunii "Mold Tool" pentru modelarea geometrică a cavităților matrițelor de injectare sub mediul "Solid Works 2006", studiu realizat pe o piesă "digitizator de mouse", urmat de un studiu de caz referitor la strategiile de obținere a unei piese prototip prin prototipare rapidă prin prelevare de material (frezare).

Capitolul 6, "**Studiul unor modele de ameliorare a produselor rezultate din procesele de injectare**", cuprinde metodologia de realizare a modelelor geometrice pornind de la piese scanate. Pentru cercetări s-au ales patru piese cu un grad relativ ridicat de complexitate (suprafețe „free form”, piese cu pereți subțiri). Acestea au fost scanate, datele obținute au fost prelucrate obținându-se în final modelul geometric virtual. S-a realizat și un control dimensional al modelelor geometrice fizice în scopul comparării cu modelele geometrice obținute în urma scanării. În final pentru a se încheia ciclul s-a realizat și o prelucrare a uneia dintre piese (digitizator mouse) pe mașina de prototipat Isel.

În **ultima parte**, teza cuprinde o serie de **concluzii și considerații finale**, în care se insistă pe prezentarea **contribuțiilor originale** în domeniul studiat și se precizează direcțiile noi de cercetare evidențiate în urma cercetărilor din cadrul tezei.

Toate aceste cercetări și elaborearea tezei nu ar fi fost posibile fără coordonarea și urmărirea permanentă din partea domnului prof.dr.ing. **Tudor Alexandru ICLĂNZAN** față de care doresc să exprim mulțumirile mele pentru îndrumarea, încrederea și încurajarea acordată în calitate de conducător științific.

Pentru sprijinul, sugestiile și materialele puse la dispoziție pe parcursul activității de cercetare doresc să le mulțumesc colegilor din cadrul *Catedrei de Tehnologia Construcțiilor de Mașini* din Facultatea de Mecanică a UPT.

1. PRODUSE INJECTATE DIN MATERIALE PLASTICE. CARACTERIZARE GENERALĂ

Materialele plastice și mai ales cele compozite reprezintă un domeniu dezvoltat relativ recent în raport cu materialele metalice sau ceramice. Materialele plastice, denumite deseori și materiale polimerice, implementate industrial masiv în anii 1930-1950, au cuprins tot mai multe domenii de activitate umană fiind în multe cazuri predominante în realizarea diferitelor produse. Materialele compozite sunt de dată și mai recentă, iar proprietățile inedite ale acestora le fac deosebit de atractive pentru multe utilizări în economia modernă.

Materialele plastice sunt esențiale pentru viața modernă de astăzi. Progresele tehnologice care ne îmbunătățesc calitatea vieții prin telecomunicații, computere, transport, sănătate, igienă, recreere, educație, gospodărire, cumpărături, sistem bancar, îmbrăcăminte, alimente, apă și energie – pentru a numi numai câteva – sunt posibile datorită proprietăților specifice ale produselor realizate din materiale plastice.[INT 06]

Fabricarea produselor din materiale plastice se referă la proiectarea și producerea componentelor tehnice, dar poate implica și procesul de combinare și asamblare. Procesul de asamblare include tăierea, lipirea sau sudarea componentelor plastice una de alta sau de alte materiale.

Progresele de astăzi în domeniul prelucrării materialelor plastice atât la nivelul materialelor utilizate cât și în privința echipamentelor tehnologice se datorează structurării unor elemente de cunoaștere a sintezei, proprietăților și mai ales a comportamentului vâscoelastic a materialelor în procesul de prelucrare.[PLA 06]

1.1 Materiale Plastice – Proprietăți fundamentale

Materialele plastice, în special cele termoplastice, prezintă un comportament vâscoelastic, adică proprietatea specifică corpurilor vâscoase de a înmagazina energia de deformare și la care aplicarea unei tensiuni va provoca o deformare tinzând la un echilibru în timp. Vâscoelasticitatea este o componentă a reologiei care studiază deformarea solidelor în funcție de timp și de asemenea curgerea vâscoasă a fluidelor. Reologia se aplică betonurilor, metalelor la temperaturi înalte și mai ales polimerilor.

Vâscoelasticitatea este proprietatea unui corp care vâscos fiind are capacitatea de a prezenta simultan câteva proprietăți elastice, cum sunt cele asociate capacității de înmagazinare a energiei de deformare conform căreia aplicarea unei tensiuni va provoca o deformare ce va tinde spre o valoare de echilibru în timp. Vâscoelasticitatea este o parte a reologiei. Reologia studiază deformarea solidelor în timp și curgerea vâscoasă a fluidelor. Reologia ca și comportament se aplică betonurilor, metalelor la temperaturi înalte, dar mai ales polimerilor. Luând în considerare răspunsul tipic al unui material vâscoelastic la o

solicitare constantă în timp (fig.1.1) putem observa trei zone distincte ce corespund la trei comportamente tipice ale materialului vâscoelastic și care pot fi explicate prin structura chimică a polimerilor.

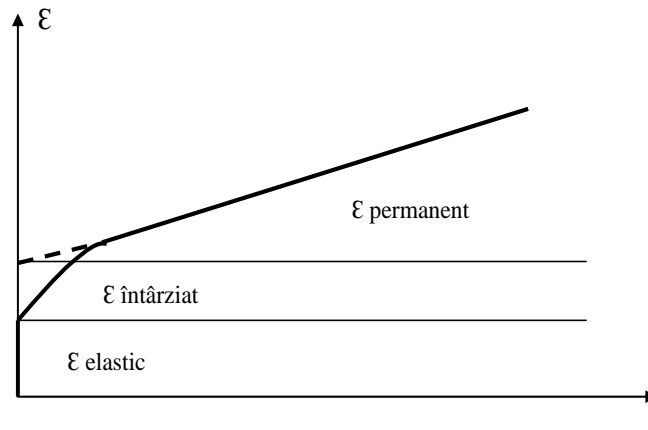


Figura 1.1 Răspunsul unui material vâscoelastic la o solicitare constantă în timp [ICL 03]

În primul rând se poate observa o **deformare instantanee** care este o caracteristică a solidelor elastice și care la nivelul moleculelor se explică printr-o variație a unghiurilor de legătură a lanțurilor de polimeri. În al doilea rând se observă o **deformare "întârziată"**. Aceasta se produce gradual în timp și dacă se înlătură tensiunea, deformarea va dispărea (se recuperează) total după un timp suficient de lung. Această deformare corespunde deplasărilor de lanțuri în interiorul împachetărilor ce pot fi considerate ca și legături fizice între moleculele de polimer.

La înlăturarea tensiunii, segmentele de lanțuri polimerice vor avea tendința de a-și relua forma lor originală, care este cea corespunzătoare nivelului minim de energie. Acest lucru este valabil atâta timp cât împachetarea lanțurilor polimerice nu a fost distrusă. Ultima parte a curbei ne arată o deformare permanentă, deci o deformare plastică. Această deformare nu mai este recuperabilă și corespunde alunecărilor de molecule una în raport cu cealaltă, care generează despachetarea lor.

În practică se obișnuiește să se claseze materialele plastice în funcție de comportarea lor sub acțiunea căldurii și presiunii în două categorii:

- Materiale termorigide;
- Materiale termoplastice.

Tabelul 1.1 Principalele procedee tehnice de realizare a materialelor plastice

Procedeul	Tipul piesei	Principala aplicație
Injectare	Forme 3 D	Piese tehnice, ambalaje
Extrudare	Profile	Materiale de construcție
Injectare – suflare	Corpuri cave 3D	Ambalaje
Calandrare	Profile plate 2D	Material rulant
Termoformare	Forme 2D – 3D	Bunuri de larg consum
Matrițare prin reacție	Spume	Aplicații speciale

În tabelul 1.1. sunt prezentate principalele procedee tehnice prin care se realizează produsele din materiale plastice:

Din punct de vedere al modului de procesare și al utilizării lor, materialele plastice pot fi împărțite în două categorii principale: termoplastice și termorigide. În figurile 1.2 și 1.3 se prezintă schematizat modul de procesare a celor două categorii de materiale.

TERMOPLASTICE – TP – (15 familii) {energia necesară procesării mai mic
{cadențe de fabricație mai ridicate}

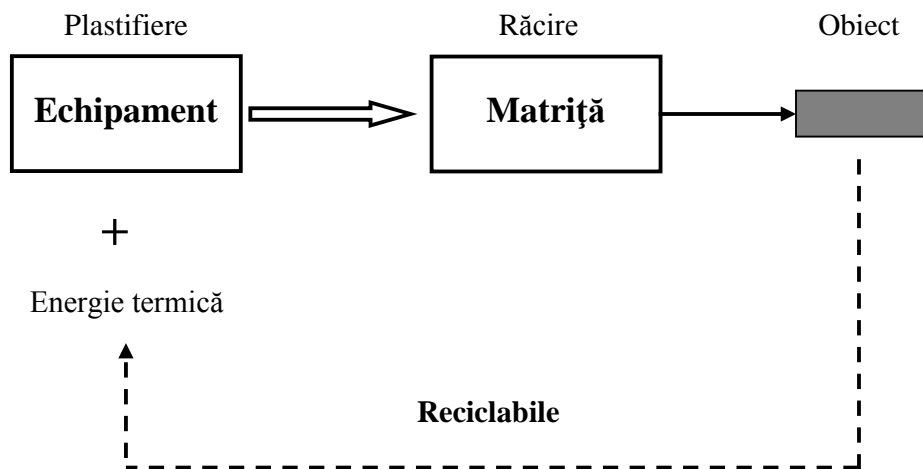


Figura 1.2 Schematizarea procesării termoplasticelor

TERMORIGIDE – TR – (7/8 familii)

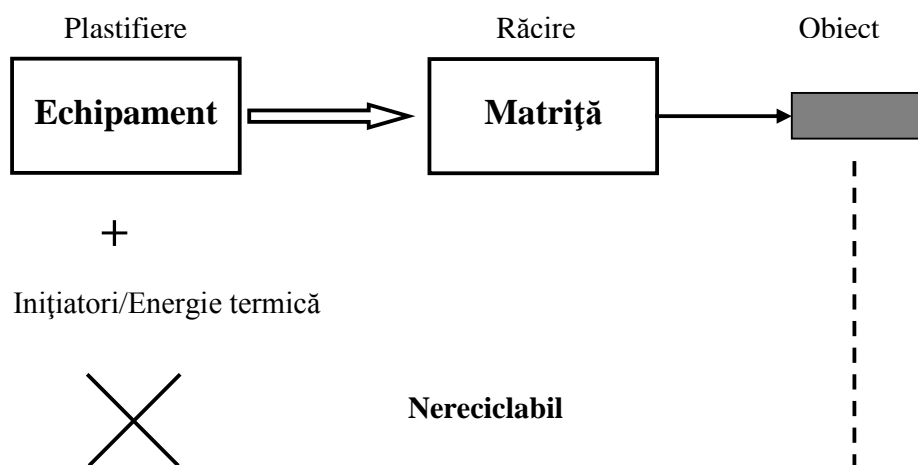


Figura 1.3 Schematizarea procesării termorigidelor [ICL 03]

Materiale termoplastice

Materialele termoplastice sunt formate din macromolecule liniare capabile să devină mobile între ele prin ridicarea temperaturii lor (ex. PE, PP, PS, PVC, PA, PMMA, ABS, SAN, etc.). Materialele termoplastice plastificate sau topite atunci când sunt încălzite, își redobândesc rigiditatea atunci când se răcesc. S-au descoperit diferite procese de „termoformare” prin umplerea formei sau modificarea formei și dimensiunilor unor semifabricate, adică distorsiunea liniei, formarea sub vid, strat de acoperire obținut prin imersiune, suflarea capacului, forma de suflare, modelarea prin injecție, modelarea circulară, extruziunea.

Spre deosebire de materialele termorigide, în timpul încălzirii și răcirii nu se produce nici o modificare chimică, nici o reticulare a moleculelor, astfel încât atunci când un obiect format termic este reîncălzit, acesta se va înmuia din nou și poate fi reciclat sau lăsat să revină la forma sa originală. [INT 06]

În figura 1.4 este schematizat procedeul prelucrării materialelor termoplastice caracterizat prin următoarele:

- Componentele de bază sunt granule pudră sau pastă de material termoplastic cu eventuale corpuri de adaos (fibre, texturi);
- Un aport extern de energie prin încălzire și unul intern prin frecare plastifiază materialul;
- Un sistem de răcire fixează forma produselor corespunzător formei matriței;
- Obiectul matrițat POATE fi reciclat.

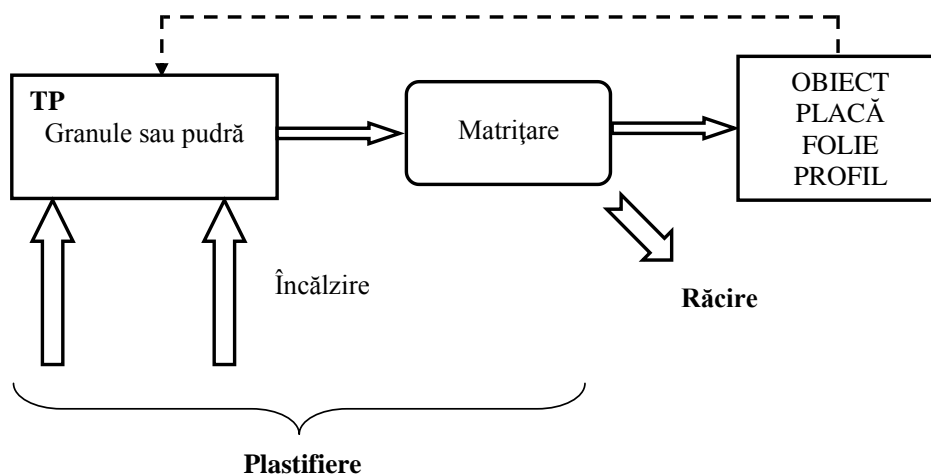


Figura 1.4 Schema prelucrării materialelor termoplastice [ICL 06]

Materiale termorigide

Materialele termorigide au la bază o rețea tridimensională de macromolecule. Această alcătuire nu permite decât mișcări pe porțiuni limitate a scheletului macromolecular. Structura poate să fie rigidă sau suplă, iar un aport de energie termică nu permite modificarea formei obiectului. Ca atare acesta se va distruge sub acțiunea căldurii, dar nu se va topi. În aceste materiale plastice se produce o schimbare în timpul procesului de tratare, precum și o legare încrucișată a lanțurilor moleculare. Această condiție ireversibilă este indusă de obicei, prin amestecul unui polimer cu un activator și în mod normal, coincide cu modelarea sau

formarea componentului în forma sa finală. Materialele termorigide nu pot fi reciclate după fabricare. Orice modelare ulterioară se realizează folosind unelte tradiționale din lemn sau de tip metalic.

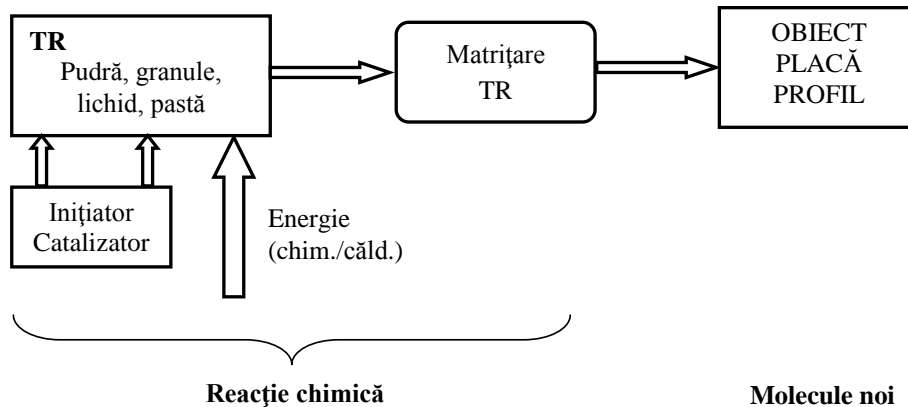


Figura 1.5 Schema prelucrării materialelor termorigide [ICL 06]

În figura 1.5 este schematizat procedeul prelucrării materialelor termorigide caracterizat prin următoarele:

- Componentele de bază care pot fi sub formă de lichid, paste sau granule se amestecă între ele;
- Reacția chimică este condusă de un catalizator și inițiator;
- Amorsarea reacției este produsă fie de realizarea amestecului, fie prin aport de energie (chimică sau calorică);
- Prelucrarea (de obicei prin matrițare) se poate executa înaintea sau în timpul amorsării reacției;
- Obiectul matrițat poate fi scos (cald sau rece) când reacția este considerată completă (90 la 100%);
- Obiectul matrițat **NU** poate fi reciclat.

Phenol-formaldehyde rășini: Capace ale cutiei de aprindere, mufe electrice, întrerupătoare și doze, laminare cu textură pentru roți dințate sau cu hârtie pentru izolațiile electrice. Mărci înregistrate obișnuite: Bakelita și Melamina.

Urea-formaldehyde: nasturi, scaune de toaletă colorate, instalații electrice casnice.

Epoxide: Încapsularea componentelor electrice – sticlă armată, protecție de pulbere, adezivi, înveliș protector marin, matrițe și ștanțe pentru materiale termoplastice.

Polyester: sticlă armată pentru carenele bărcii, caroseriile și cabinetele mașinilor, când este important aspectul estetic pentru multe monturi și aplicații.

1.2 Prelucrarea materialelor plastice prin injectare

Matrițarea prin injectare este un procedeu de serie care permite realizarea unor piese din plastic de la câteva grame la câteva zeci de kilograme. Limita superioară este relativă și impusă doar de performanțele tehnice ale utilajului. Procedeul presupune deci acțiunea simultană de funcționalitate a:

- Materialului plastifiat sub acțiunea temperaturii și presiunii;
- Sucei purtând cavitatea activă pentru răcire și solidificare;

- Utilajului asigurând parametrii (temperatură, presiune, răcire, deplasări) în cadrul unui ciclu de lucru.

În figura 1.6 este prezentată schema constructivă de bază a unei mașini de injectat material plastic în poziții principale de lucru. Matrița este dispusă între o unitate de injectare care asigură materialul plastifiat și o unitate de închidere-deschidere care asigură evacuarea piesei.

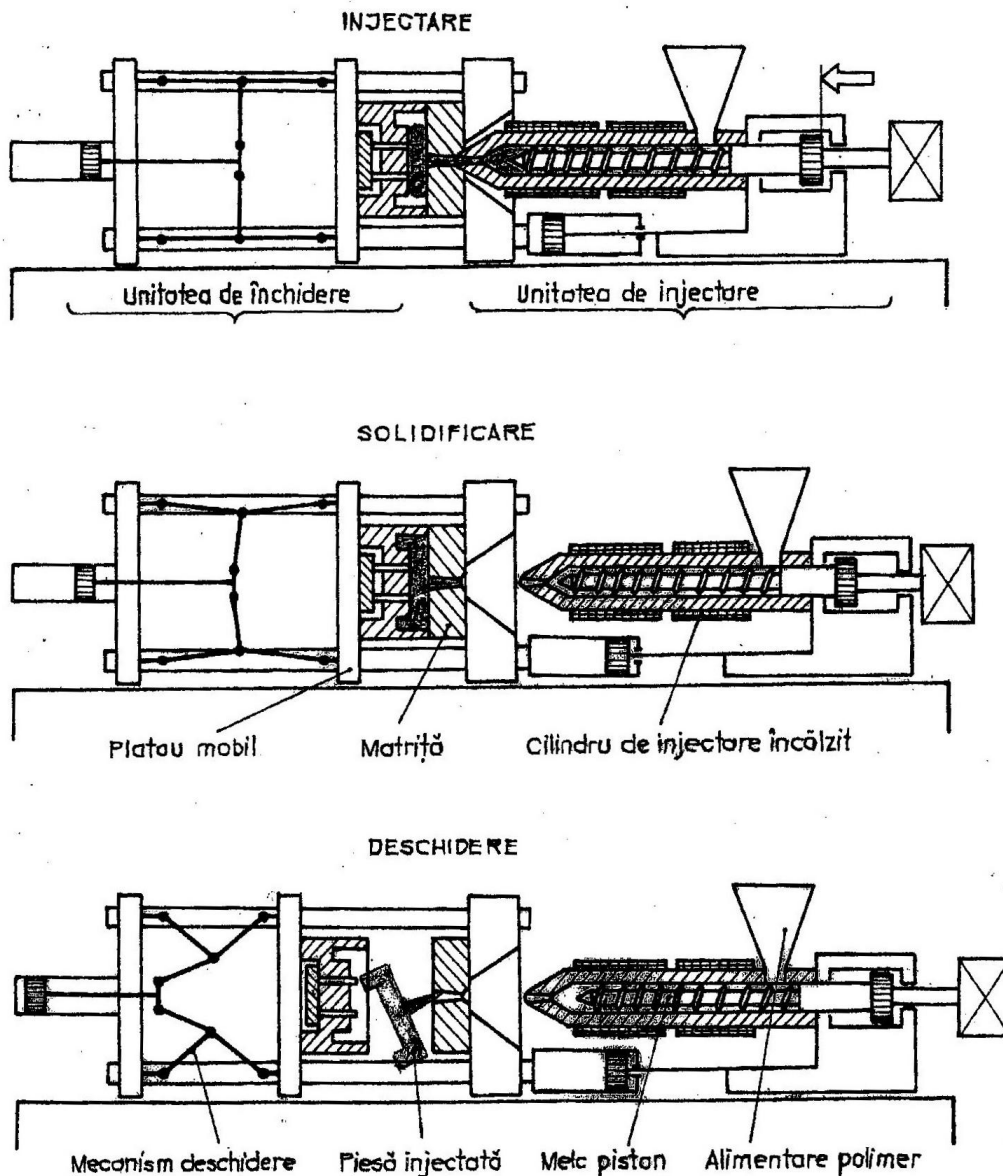


Figura 1.6 Schema simplificată a mașinii de injectat și principalele poziții de lucru

În realizarea ciclului de injectare a unei piese se pot remarca câteva particularități. Astfel în faza de umplere a matriței prin injectare pe măsura pătrunderii materialului, în contact cu pereții reci ai matriței se formează o peliculă de material răcit în curs de solidificare. Fenomenul este însoțit de o restrângere a secțiunilor reale de curgere, în această fază producându-se orientarea materialului și definirea calității suprafeței piesei injectate. În faza de îndesare sau quasistatică se urmărește compensarea contracției materialului datorită răcirii acestuia și deci limitarea deformației totale a piesei după răcire. În general durata fazei este determinată de secțiunea duzei de alimentare. Sfârșitul acestei faze trebuie să corespundă cu momentul sigilării matriței. În faza de răcire, ce corespunde cu sfârșitul îndesării și începutul deschiderii matriței, materialul se răcește prin conducție, presiunea scade, iar densitatea rămâne aproape constantă. Când presiunea devine minimală are loc o diminuare a volumului specific. În cursul acestei faze au loc fenomenele de relaxare a tensiunilor interne și reorientarea macromoleculilor spre pozițiile lor optime.

1.2.1 Defecte tipice de injectare

Există o multitudine de cauze ce pot determina apariția defectelor de injectare a materialelor plastice și ca urmare există numeroase metode de eliminare a acestora.

Din punct de vedere a tehnicilor de Reverse Engineering cunoașterea defectelor tipice care pot să apară în procesul de injectare prezintă importanță pentru acuratețea deciziilor luate fie privind proiectarea piesei, fie controlul tehnologiei și mai ales pentru eliminarea unor iterații inutile generate de o insuficientă cunoaștere a procesului de injectare și a efectelor acestuia.

S-a observat că în practică un anumit tip de defect are semnificații diferite pentru diverse persoane și nu este interpretat în aceeași manieră. În plus există o asemănare foarte mare între anumite defecte de injectare, dar care au cauze și remedii total diferite.

În ceea ce urmează se va prezenta mai jos o sinteză a principalelor defecte ce apar în cazul pieselor injectate:

01-PETE MATE

A). DENUMIRE DEFECT: Pete mate zone mate, aoreole mate.

B). DESCRIERE DEFECT: Zone mate pe suprafețe vizibile, bine delimitate.

C). CAUZE:

1). Perturbarea curgerii materialului plastifiat în rețeaua de alimentare și/sau în digul matriței;

2). Diferențe între vitezele diferitelor fronturi de curgere la injectarea prin mai multe diguri de injectare.

3). Împingerea în cuib a unei pelicule de material deja solidificat în zonele cu schimbare bruscă a direcției de curgere sau variații bruște de grosimi de pereți.

D). REMEDII:

1). Optimizarea digului de injectare și injectarea cu viteze graduale mai întâi - lent apoi rapid;

2). Echilibrarea vitezelor fronturilor de curgere la același nivel iar în anumite cazuri injectarea prin mai multe diguri;

3). Atenuarea și lustruirea zonelor de tranziție din rețeaua de alimentare și din matriță în zonele de schimbare bruscă a grosimilor de pereți sau adaptarea vitezelor de injectare pe curse funcție de grosimile de perete pentru umplerea lor.

02-DOP RECE

- A). DENUMIRE DEFECT: Dop de material rece injectat în matrită.
B). DESCRIERE DEFECT: Zone mate neregulate bine delimitate și marcate de un drum de curgere a incluziunilor de material rece din duza mașinii.
C). CAUZE:
1). Absența și/sau o mărime insuficientă a acumulatorului de material rece din rețeaua de alimentare;
2). Gaura din duza și temperatura pe duza prea mică;
3). Curgerea liberă a materialului din duză sau din canalele calde în matrită și răcirea acestuia.
D). REMEDII:
1). Proiectarea și/sau optimizarea dimensională a acumulatorului de dop rece pentru ca acesta să rămână în acumulator;
2). Mărirea diametrului găurii duzei, instalarea unui corp de încălzire pe duză, mai puternic, verificarea termocuplei și a termoregulatorului de pe duză;
3). Creșterea cursei de dozare și optimizarea transferului termic din canalele calde.

03-VARIAȚIA PERNEI DE MATERIAL

- A). DENUMIRE DEFECT: Fluctuația pemei de material de la un ciclu la altul.
B). DESCRIERE DEFECT: Perna de material variază pronunțat de la un ciclu la altul și poate chiar să devină inexistentă la un moment dat.
C). CAUZE:
1). Supapa antiretur este defectă sau blocată;
2). Uzura elementelor hidraulice pentru injectare;
3). Dozare neregulată.
D). REMEDII:
1). Verificarea supapei antiretur și eventual înlocuirea acesteia;
2). Verificarea elementelor hidraulice pentru injectare;
3). Verificarea uzurii cilindrului de plastifiere și a melcului și eventual înlocuirea cu o nouă unitate de plastifiere.

04-LINII ARGINTII ÎN SENSUL DE CURGERE AL MATERIALULUI

- A). DENUMIRE DEFECT: Linii argintii datorate umidității materialului.
B). DESCRIERE DEFECT: Linii argintii în formă de tufe alungite în forma de U deschis în sensul de curgere al materialului, sub o formă atenuată și numai liniară.
C). CAUZE: Umiditate reziduală excesivă în granulele de material.
D). REMEDII:
1). Verificarea procesului de uscare : temperatura , durata și debitul de uscare;
2). Verificarea și curățirea filtrului de la uscătorul de material și colorant;
3). Verificarea sensului de rotire al motorului de aspirare al aerului din circuitul de uscare.

05-CONTRACTII PE ÎNTREAGA SUPRAFAȚĂ A PIESEI

- A). DENUMIRE DEFECT: Contractii de suprafață.
B). DESCRIERE DEFECT: Contractia piesei injectate are loc pe suprafețe extinse cu excepția marginilor piesei.
C). CAUZE:

- 1). îndreptarea și concentrarea fibrei de sticlă spre extremitățile drumurilor de curgere sau în dreptul liniilor de sudură;
 - 2). presiunea de menținere insuficientă.
- D). REMEDII :
- 1). modificarea drumurilor de curgere și/sau amplasarea liniilor de sudură în zone mai puțin critice;
 - 2). întârzierea comutării de la presiunea de injectare la cea de menținere și creșterea presiunii și a timpului de menținere.

06-LINII DE SUDURĂ PRONUNȚATE

- A). DENUMIRE DEFECT: Linii de sudură
- B). DESCRIERE DEFECT: Linii pronunțat vizibile și care se simt cu unghia de-a lungul unei linii de sudură.
- C). CAUZE:
- 1). sudura insuficientă a două fronturi de curgere opuse datorită:
 - a). vitezelor de injectare prea mici;
 - b). grosime de perete prea mică și/sau drum de curgere prea lung.
 - 2). aerisire insuficientă a matriței.
- D). REMEDII:
- 1). îmbunătățirea curgerii materialului prin creșterea temperaturii materialului și a matriței;
 - 2). creșterea vitezei de injectare;
 - 3). creșterea grosimii de perete a piesei injectate sau dacă este necesar poziționarea punctelor de injectare astfel încât drumurile de curgere să fie cât mai reduse;
 - 4). îmbunătățirea aerisirilor din matriță, în special la capătul drumului de curgere.

07-DECOLORĂRI PARȚIALE

- A). DENUMIRE DEFECT: Schimbări parțiale de culoare.
- B). DESCRIERE DEFECT: Schimbări parțiale de culoare.
- C). CAUZE:
- 1). material insuficient de bine omogenizat;
 - 2). viteza de injectare și de dozare prea mare;
 - 3). punct de injectare prea strâmt;
 - 4). timp de staționare pe cilindru de plastifiere prea lung.
- D). REMEDII:
- 1). creșterea contra-presiunii la dozare și reducerea vitezei de rotație a melcului la dozare;
 - 2). reducerea vitezei de injectare și a vitezei de dozare;
 - 3). mărirea diametrelor digurilor;
 - 4). reducerea timpului de staționare pe cilindru, prin alegerea unei unități de plastifiere prea mici.

08-EXFOLIERI

- A). DENUMIRE DEFECT: Exfoliere sau delaminarea materialului.
- B). DESCRIERE DEFECT: Detașarea sau exfolierea unei pelicule de pe o suprafață întinsă a piesei injectate în special în jurul punctului de injectare.
- C). CAUZE:
- 1). tensiuni de forfecare prea mari datorate:
 - a). digului prea mic;

- b). vitezei de injectare prea mare;
- 2). contaminarea materialului de bază cu alte materiale plastice incompatibile;
- 3). utilizarea unui colorant necorespunzător.
- D). REMEDII:
 - 1). diminuarea tensiunilor de forfecare prin:
 - a). mărirea digului de injectare;
 - b). reducerea vitezei de injectare.
 - 2). verificarea purității materialului și curățirea unității de plastifiere;
 - 3). folosirea unui colorant corespunzător tipului de material.

09-ECART DIMENSIONAL

- A). DENUMIRE DEFECT: Variație dimensională
- B). DESCRIERE DEFECT: Cotele tolerate prevăzute ale piesei nu sunt obținute după injectarea acesteia.
- C). CAUZE:
 - 1). contracția termic incorect prevăzută;
 - 2). contracție dimensională cauzată de o concepție defavorabilă și de o poziționare necorespunzătoare a digurilor;
 - 3). mașina de injectat și matrița nu au ajuns la un echilibru termic;
 - 4). material prea umed.
- D). REMEDII:
 - 1). verificarea coeficientului de contracție termică cu cel dat de furnizorul de material plastic sau prin compararea acestuia cu cel real rezultat din injectarea unei alte piese comparabile dimensional;
 - 2). verificarea contracției dimensionale a piesei injectate și reconceperea formei acesteia pentru reducerea contracției;
 - 3). modificarea poziției digului pentru a se obține o orientare omogenă a lanțurilor de polimeri;
 - 4). verificarea variațiilor termice ale matriței și ale mașinii de injectat;
 - 5). verificarea gradului de uscare a granulelor de material plastic.

1.3 Precizia și stabilitatea dimensională

Precizia și stabilitatea dimensională sunt două componente majore ale calității pieselor injectate. Este important de a prevedea formarea variațiilor lor geometrice și dimensionale pentru a stăpâni mai bine procedeul și pentru a accede la criteriile de calitate superioare.

Calitatea pieselor injectate din materiale polimerice se asociază în general la trei componente principale :

- aspectul pieselor injectate;
- precizia dimensională;
- proprietățile de utilizare.

Practica industrială a consacrat precizia și stabilitatea dimensională (element al proprietății de utilizare) ca fiind cele două componente majore care determină calitatea pieselor injectate. Analiza proceselor de injectare evidențiază mecanisme generatoare de instabilitate dimensională și geometrică în fiecare fază a unui ciclu.

Cunoașterea acestora este esențială încă în faza de concepție a produsului pentru a asigura controlul cât mai riguros al procesului. Noncalitatea poate fi

rezultatul pe de o parte al perturbațiilor care destabilizează procesul sau al constrângerilor care limitează performanțele procesului.

1.3.1 Definirea preciziei și stabilității dimensionale

Precizia dimensională este caracterizată de două mărimi :

- contracțiile piesei injectate, care reprezintă diferența dintre dimensiunile piesei și modelul ce se vrea a fi obținut;
- deformări, care reprezintă contracțiile locale exprimate printr-o deformare geometrică.

În general precizia dimensională este direct legată de omogenitatea structurii piesei, ea este puternic influențată de contracțiile termice locale și de constrângerile reziduale induse în procesul de transformare. În alți termeni, calitatea dimensională și geometrică a pieselor injectate depinde de perturbațiile termo-mecanice locale apărute în polimer în timpul fazelor de umplere/compactare, menținere și răcire în matriță și în afara acesteia. Tensiunile reziduale afectează stabilitatea dimensională și proprietățile mecanice ale pieselor injectate.

Ele pot avea două origini. În primul rând, tensiunile de forfecare și tensiunile normale date de curgere în timpul umplerii și compactării nu se relaxează total în momentul solidificării datorită caracterului vâsco-elastic al materialului (ele se relaxează total pentru un comportament pur vâscos). Este vorba despre tensiunile concentrate induse prin curgere. După aceea, contracția termică asociată răcirii eterogene pe de o parte, astfel că încărcarea mecanică dată de presiune în faza lichidă în timpul umplerii și compactării, conduce de asemenea la tensiuni reziduale. [STA 03]

Fenomenele ce intervin în stabilirea constrângerilor reziduale pot fi prezentate în tabelul 1.2.

Tabelul 1.2 Fenomene ce intervin în stabilirea constrângerilor

Etapele ciclului și observații	Influența asupra constrângerilor
Umplerea : [t < t₀] Faza dinamică a ciclului unde apar constrângeri legate de curgerea anizotermă	- gradient de temperatură în grosime la finalul umplerii; - grosimea stratului solid; - proprietățile termodinamice ale acestui strat.
Compactare/ menținere : [t₀ < t < t_{rig}] Etapa esențială în generarea constrângerilor	- constrângeri de curgere concentrate; - anizotropia proprietăților fizice date de curgere și de cristalizare; - eterogenitatea acestor proprietăți în piesă; - deformația elastică a matriței; - revenirea materialului spre duză.
Răcirea în matriță : [t_m < t < t_e]	- revenirea materialului spre duză; - revenirea elastică a matriței.

Demularea : [t=t_e] Condițiile de aruncare lasă adesea constrângeri suplimentare	- remanența deformației legată de aruncare; - prinderea piesei în matriță; - flambajul natural al piesei.
Răcirea înafara matriței : [t_e<t<t_n] Câmpul de constrângeri final depinde de condițiile de convecție liberă în pereți și de efectele de relaxare din mijloc.	

Tensiunile reziduale generate de punerea în formă a pieselor injectate sunt atribuite la două fenomene fizice principale:

1. Tensiunile reziduale de curgere care se nasc din acțiunea combinată de curgere și de răcire anizotermă, în mare parte date de faza de umplere, dar în egala măsură și de faza de compactare/menținere. Ele induc orientările moleculare care nu participă în mod direct la deformarea piesei, dar care se relaxează în timp sau sunt supuse unei recoaceri. Ele produc o anizotropie marcând de fiecare dată proprietățile. Orientarea moleculară depinde de diferențele tensiunilor principale și se pune în evidență în mod curent printr-un model al lui Maxwell în regim staționar.

2. Tensiunile termice care apar datorită răcirii succesive a straturilor de polimer sunt consecința contracțiilor termice locale în grosime, care sunt influențate de un număr mare de mărimi de intrare în proces. Ele depind de proprietățile elastice ale materialului, având un profil parabolic cu o componentă compresivă în peliculă și extensivă în mijloc. Ele au valori cuprinse între 1 și 10 MPa pentru condiții normale de injectare.

Stabilitatea dimensională este proprietatea piesei de a-și menține dimensiunile și formele în timpul utilizării. Contractia este adesea prezentată ca diferența dintre dimensiunile piesei și ale modelului (urma piesei).

În realitate însă avem de-a face cu două noțiuni [DEL 91] :

- contractia piesei injectate R_m care este diferența relativă dintre dimensiunile piesei injectate D_p și dimensiunile matriței D_m , măsurate după 24 sau 48 de ore la 23°C și 50 % umiditate relativă conform normelor ISO 2577 [ISO].

Astfel :

$$R_m = 1 - \frac{D_p}{D_m} \quad (1)$$

- Post - contractia P_r , care este diferența relativă dintre dimensiunile piesei după răcire D_{av} și dimensiunile aceleiași piesei supusă unui tratament termic D_{ap} într-o incintă, la o anumită temperatură și perioadă de timp, definite de specificațiile de material testate conform normelor AFNOR NFT - 53035 [AFNOR];

Astfel:

$$P_r = 1 - \frac{D_{ap}}{D_{av}} \quad (2)$$

Contractia totală a unei piese se exprimă prin suma algebrică a contractiilor și post – contractiilor.

Aceste mărimi nu relevă măsurările unidirecționale care sunt în general luate în seamă odată cu calculele asupra unui, două indicii dimensionale. Putem exprima contractia volumică R_v , care se exprimă ca diferența relativă dintre volumul piesei injectate V_p și cel al modelului V_m , măsurate după 24 sau 48 de ore la 23°C și 50 % umiditate relativă.

$$R_v = 1 - \frac{V_p}{V_m} \quad (3)$$

Contractia volumică se poate exprima de asemenea în funcție de contractiile unidirecționale R_i :

$$R_v = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2)(1 - R_3) \quad (4)$$

În fabricarea pieselor din materiale plastice, topitura este injectată în cavitatea matriței. După încheierea fazei de injecție și a perioadei de menținere, piesa este răcită în matriță. Datorită factorilor fizici, piesa injectată suferă o schimbare dimensională în timpul procesului de răcire, schimbare specifică materialului folosit. Această schimbare dimensională este numită **contractie**.

În cazul materialelor amorfe, contractia uniformă (comportament isotropic) are loc datorită structurii morfologice. Materialele polimerice semicristaline, la care apare o variație a contractiei (comportament anisotrop) în funcție de aranjamentul cristalin, se comportă diferit. Aceste diferențe a contractiei pot duce la apariția unei tensiuni în piesă, ceea ce conduce la apariția deformațiilor piesei după îndepărtarea sa din matriță.

Această schimbare dimensională în matrița trebuie să fie luată în considerare în designul matriței pentru a obține precizia dimensională a piesei după procesul de răcire. Când termoplasticele sunt fabricate folosind metoda de injecție în matriță, dimensiunile piesei se schimbă în timpul procesului de răcire. Aceste schimbări dimensionale sunt cunoscute sub numele de contractie.

Contractia se bazează pe compresibilitatea și expansiunea termică a plasticelor. Atunci când piesele din materiale plastice suferă contractii, se schimbă volumul. Pentru a menține dimensiunile dorite ale piesei din plastic, cavitatea matriței este lărgită în funcție de contractia materialului. Din acest motiv, în fabricarea matriței trebuie să se prevadă diferențele dimensionale legate de contractia între cavitatea matriței și piesa injectată. Acest lucru nu este ușor de făcut în multe cazuri, din moment ce contractia este determinată de un număr de factori.

Dacă designerul estimează incorect contractia, acest lucru duce la deformarea componentelor. În plus față de variabilele de control ale procesului (temperatură, presiune), și a proprietăților materialului, rigiditatea sau grosimea peretelui piesei influențează contractia.

Dacă este examinat cadrul general al contractiei, pot fi descrise următoarele variabile principale de influență:

a). Materialul

Structura materialului poate juca un rol important mai ales prin consecințele pe care le induce din punct de vedere al mărimii contractiilor:

- contractii reduse și relativ uniforme în cazul materialelor termoplastice amorfe (PVC, ABS, PS, PMMA, PC) și pentru unele termorigide (epoxide);
- contractii importante și relativ uniforme pentru un material foarte cristalin cum este poliacetatul (POM);

- contracții importante și neuniforme pentru materiale termoplastice semicristaline (PE, PP, PA);

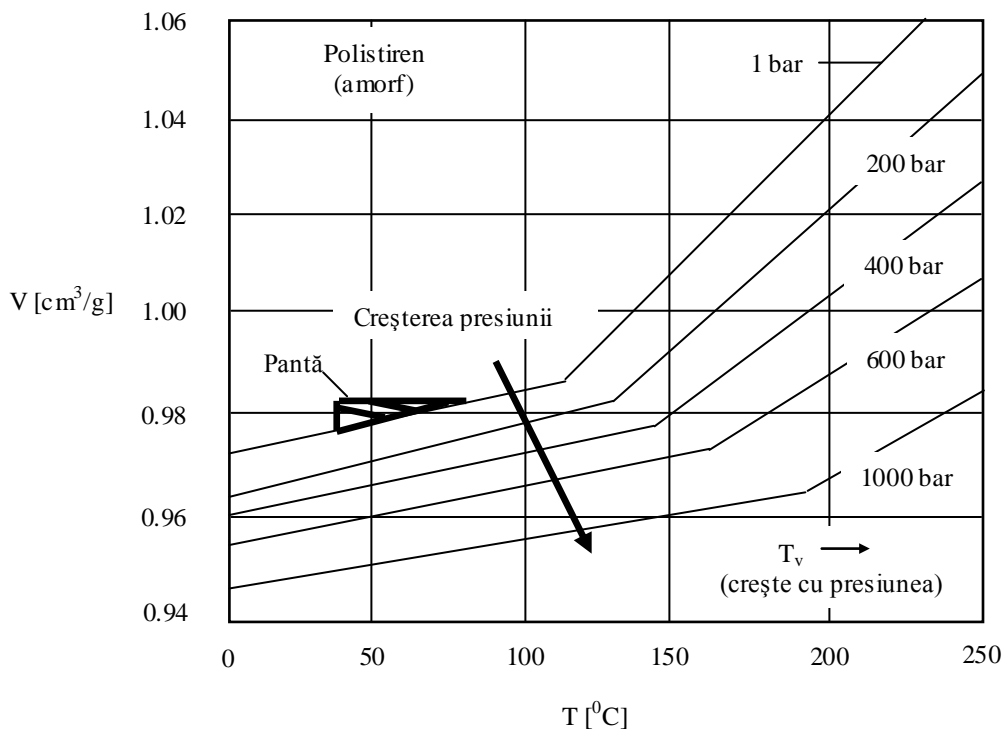
- aditivii întăritori diminuează contracțiile (fibre de sticlă). [ICL 95]

Variația contracției la polimerii amorf și semicristalini poate fi ilustrată foarte bine într-o diagrama PVT (presiune-volum-temperatură) - figura 1.7.

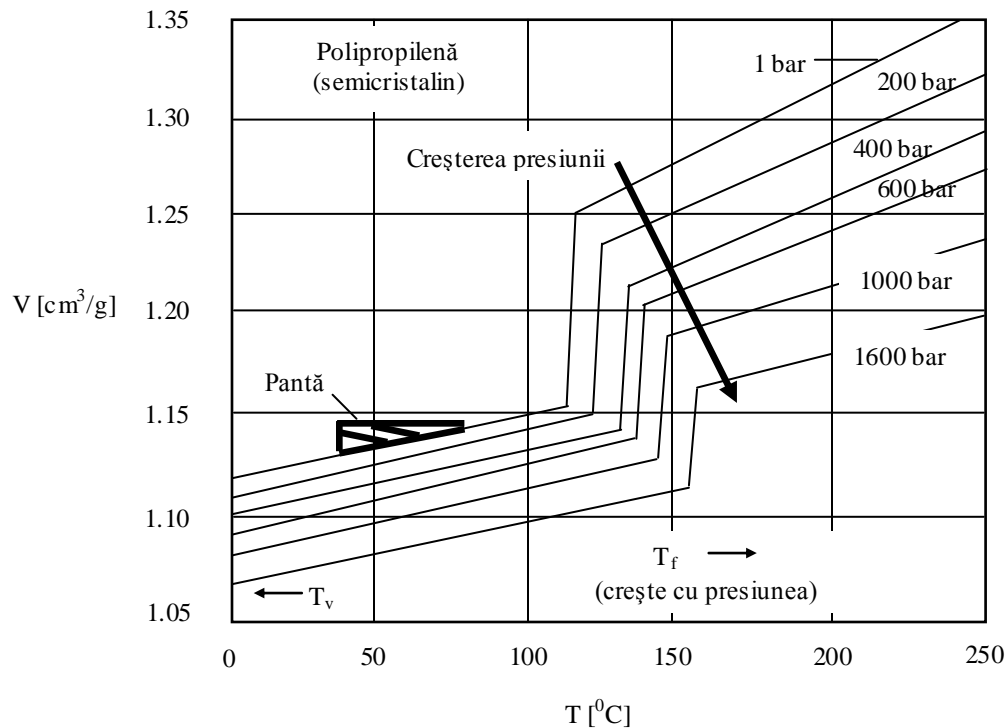
Curbele P-V-T arată că de fapt materialele polimerice sunt foarte compresibile la temperaturile și presiunile care apar în procesul de injectare. Variabilele procesului, cum ar fi presiunea de menținere (sau mai precis, presiunea din cavitate) ar trebui să aibă atunci o influență semnificativă asupra dimensiunilor părții sau contracției acesteia.

Comportamentul la presiune- volum- temperatură pentru un polimer semicristalin, cum ar fi polipropilena sau nylonul 6/6, este foarte diferită comparativ cu un polimer amorf cum este polistirenul. La fel ca polimerii amorf, polimerii semicristalini prezintă o creștere a volumului specific o dată cu creșterea temperaturii (la presiune constantă), datorită expansiunii termice, și o scădere a volumului specific cu presiunea (la temperatură constantă) datorită efectelor compresibilității.

Oricum, spre deosebire de polimerii amorf, polimerii semicristalini prezintă o schimbare gradată a volumului specific la temperatura lor de topire. Pe măsură ce un polimer semicristalin se răcește în cavitatea unei matrițe, "topitura amorfă" se răcește și se solidifică când își atinge temperatura de cristalizare. Contractia volumică a unei piese polimerice poate fi teoretic prevăzută, dacă caracteristicile P-V-T ale polimerului, și condițiile de fabricare sunt cunoscute.



a – polimer amorf (polistiren)



b - polimer semicristalin (polipropilenă)

Figura 1.7 Diagrama PVT (presiune-volum-temperatură) [MAL 94]

Din păcate, condițiile de fabricare (și de aici și contracția) depășesc cu mult capacitățile proiectantului, dar conceptul poate fi folosit oricum pentru a înțelege mai bine modul în care fazele diferite ale procesului de modelare prin injecție afectează contracția volumică a materialului.

b). Proiectarea piesei

În plus față de cerințele de calitate ale suprafeței, piesele din materiale polimerice trebuie de asemenea să îndeplinească și cerințe mecanice. S-au stabilit o serie de reguli generale ce se impun a fi respectate în legătură cu forma pieselor injectate:

- piesa injectată trebuie să aibă forma geometrică cea mai simplă posibilă;
- dimensiunile și masa piesei injectate trebuie să fie cât mai mici;
- configurația piesei trebuie să permită scoaterea cât mai ușoară din matriță;

- se vor evita pe cât posibil proeminențele și muchiile ascuțite;
- se ține cont de construcția piesei în legătură cu precizia dimensională.

c). Condițiile de fabricare

În timpul fabricării perioada de menținere și presiunea din timpul acestei perioade au cea mai mare influență asupra comportamentului de contracție al piesei. În timpul perioadei de menținere topitura continuă să fie introdusă în matriță prin miezul de plastic, compensând astfel parțial contracția. Dacă sistemul de închidere și matrița sunt realizate optim, poate fi atinsă o reducere a contracției de

până la 0,5% la termoplasticele semicristaline. În cazul materialelor amorfе, sunt atinse valori maxime de numai 0,2% datorită potențialului scăzut la contracție. Temperatura peretelui matriței determină nu numai dacă efectul presiunii de menținere este mai bun sau nu, ci și viteza de răcire. La o temperatură ridicată a peretelui, piesa se răcește mai încet. La materialele semicristaline acest lucru duce la o cristalizare mai pronunțată, și astfel la o contracție de fabricație crescută. [MAL 94]

d). Tehnologia matriței

Temperaturile din diferitele zone ale matriței duc la o variație a contracției și astfel la o variație a proprietăților pieselor injectate. În cazul unei temperaturi inegale între interiorul și exteriorul matriței, materialul polimeric sau partea mai caldă se contractă mai mult decât cealaltă parte care are temperatura mai scăzută. Diferențele de contracție se datorează temperaturii variabile a matriței. [BAY 07]

1.4 Influența toleranțelor

Inginerii proiectanți au nevoie să știe ce dimensiuni ale toleranțelor sunt posibile într-o anumită tehnică de prelucrare. Este întotdeauna dificil să fii sigur în legătură cu ce toleranțe pot fi garantate pentru dimensiunile unei părți formate prin injectare, care depind de mai mulți factori. În general, piesele mici pot fi ținute la toleranțe mai apropiate decât piesele mari. Este binecunoscut faptul că piesele formate dintr-un material plastic cu un factor de contracție mic vor oferi dimensiuni mai uniforme decât aceeași mărime și formă a piesei făcute cu un factor de contracție ridicat. Dimensiunile finale ale unei piese nu pot fi niciodată mai bune decât dimensiunile matriței. Nu există nici un substitut pentru o matriță realizată cu precizie, de bună calitate. În mod tipic, materialele termoplastice se contractă semnificativ după răcirea și solidificarea din timpul procesului de injectare. Designerii de matrițe fac cavitatea matriței mai mare decât mărimea părții finale dorite pentru a compensa această contracție. Datele despre contracția matriței, publicate de către furnizorul de rășini pentru un material specific, pot fi folosite pentru a estima mărimea compensării.

Valorile contracțiilor teoretice pentru materialele termoplastice injectate sunt prezentate în tabelul 1.3.

Tabelul 1.3 Contracțiile materialelor plastice [ICL 06]

Tipul materialului termoplastic	Valoarea contracției [%]
Polistiren de uz general	0.2-0.6
Polistiren rezistent la soc	0.2-0.6
Polietilena de mare densitate	2.0-5.0
Polietilena de mica densitate	1.5-5.0
Polipropilena	1.0-2.5
Poliamida 6	0.6-1.4
Policarbonat	0.5-0.7
PVC dur	0.1-0.5
PVC plastifiat	1.0-5.0
Acetat de celuloza	0.3-1.0
Polimetacrilat	0.2-0.8

Aceasta este o situație de compromis și mulți cumpărători apreciază injectarea, deoarece presupune costuri instrumentale mici. Repetabilitatea procesului contribuie și ea la consistența dimensiunilor. Practicile de fabricare bune, mașinile de calitate înaltă și programul de verificare a calității formei pot face diferența dintre succes și eșec.

1.4.1 Toleranțele și implicațiile lor în cost

Se face în general o distincție între trei clase de calitate: injectarea generală, injectarea tehnică și injectarea de precizie înaltă. În standardul DIN 16901, această distincție este menționată sub forma toleranței generale și dimensiunilor, cu permisivități direct creionate (grade 1 și 2):

- injectarea generală, nu necesită un nivel ridicat al controlului calității și se caracterizează prin număr de rebuturi mic și cicluri de producție rapide;
- injectare tehnică este considerabil mai scumpă, din moment ce are cerințe mai ridicate în legătură cu matrița și cu procesele de producție, necesită control de calitate frecvent și din acest motiv este posibil să producă mai multe rebuturi;
- injectarea de înaltă precizie, necesită matrițe precise, condiții de producție optime, și o monitorizare 100% a producției cu control al calității continuu. Acest lucru afectează ciclul de producție prin producția crescută și prin controlul de calitate-cost per unitate.

Din moment ce designerii joacă un rol cheie în determinarea costurilor unei piese obținute prin injecție, ei trebuie să asigure de asemenea toleranțe comerciale viabile. O valoare comercial acceptată pentru toleranța de producție ar consta într-o deviație de la 0,25 la 0,3% de la dimensiunile nominale, dar acest lucru ar trebui verificat în relație cu cerințele aplicației (fig.1.8).

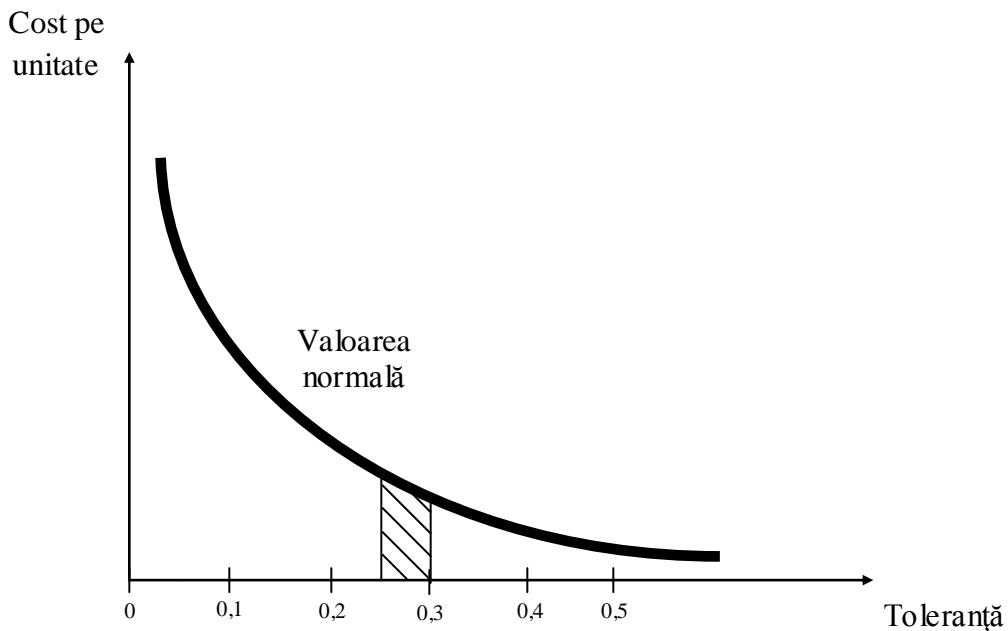


Figura 1.8 Preț pe unitate versus toleranță [HAS 07]

Pentru a evita toleranțele excesiv apropiate pentru componentele de plastic, trebuie ținuti minte factorii care influențează precizia dimensională a pieselor din materiale polimerice obținute prin injectare:

- toleranțele date de fabricația cavităților matriței;
- toleranțe date de echipamentul de injectare;
- toleranțe date de natura materialului;
- deformări date de contracții, post-contracții, geometria piesei, orientare, tensiuni interne, diferite condiții de curgere a materialului;
- schimbări dimensionale date de absorbția de umezeală, expansiune termică.

1.5 Elemente legate de proiectarea matriței

Proiectarea unei matrițe pentru injectare, precum și proiectarea unei piese realizată prin orice alt proces de plastifiere, începe cu concepția unei forme sau structuri care va satisface cerințele funcționale ale produsului în mediul său de utilizare. Odată ce cerințele funcționale sunt clar înțelese și a fost dezvoltată o formă de bază, designerul își îndreaptă atenția asupra materialelor și tehnicilor de fabricare pe care le are la dispoziție pentru a produce componenta. Sunt disponibile multe materiale, opțiuni de prelucrare pentru designer, el nelimitându-se la materialele plastice. Toate produsele sau componentele plastice de succes pot fi gândite ca fiind înconjurate și protejate de patru elemente de bază pe care le au în comun toate componentele plastice.

Aceste elemente de bază sunt: 1) desenul produsului; 2) alegerea materialului plastic ideal; 3) proiectul și construirea sculelor; 4) procesul de formare și finisare a piesei (fig.1.9). Toate aceste patru elemente trebuie manevrate corect pentru a produce piesa optimă.

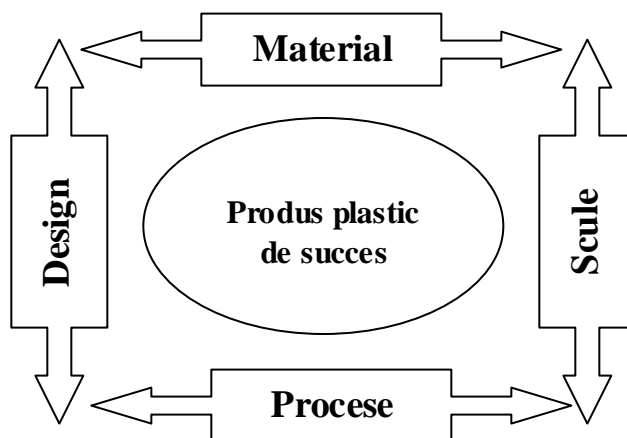


Figura 1.9 Elementele de bază în realizarea piesei injectate [MAR 05]

Un produs reușit începe cu un proiect de bună calitate. Desenul de bună calitate al unui produs este rezultatul cunoștințelor pe care le are designerul, al calităților și limitelor materialului ales, al sculelor și modului de folosire a lor, cuplate cu atenția minuțioasă acordată detaliilor din desen.

Din nefericire, nu este posibil ca un proiectant să realizeze desenul optim al produsului fără ca acesta să nu aibă cunoștințe legate de material, procesul ales și

sculele folosite. Cu alte cuvinte, o componentă plastică trebuie să fie proporționată conform cerințelor materialului, sculelor și procesului.

Ignorarea sau manevrarea greșită a unuia dintre aceste patru elemente de bază duce la obținerea unui produs mai puțin bun. Va apare și o ruptură în cadrul care ar trebui să înconjoare și să protejeze produsul din material plastic de succes. Odată acest cadru nerespectat, produsul va suferi, datorită utilizării neadecvate a sculelor sau costului unei piese, calitatea slabă, rezistența neadecvată, probleme de prezentare, nemulțumirea clientului, sau toate cele de mai sus.

Luptându-se să îndeplinească cele patru cerințe de bază, designerul nu trebuie să piardă din vedere cerințele funcționale ale produsului pentru utilizarea sa finală în mediu. Satisfacerea simultană a acestor condiții implică, deseori, decizii de compromis dificile. De exemplu, fabricarea prin injectare a materialelor plastice este prima alegere.

De exemplu, marketingul nu va aștepta orarul de livrare a matrițelor, produsul ar fi mai rezistent în policarbonat, însă natura competitivă a pieței nu va tolera costul ridicat al materialului, etc.

Desenul și dezvoltarea produselor din plastic nu se fac niciodată atât de ușor, pe cât crede designerul că va fi.[MAR 05]

În fabricare, formarea prin injecție este unul dintre cele mai utilizate procese de producție a componentelor din material plastic cu o mare rată de productivitate și cu condiții puține sau deloc privind finisarea produselor din plastic. Procesul constă în injectarea materialului polimeric plastifiat dintr-un cilindru de injecție într-o matriță, răcirea, solidificarea și scoaterea produsului din matriță. Pentru fiecare produs nou din plastic, este necesară o nouă matriță.

Proiectarea matriței este influențată de mai mulți factori, cum ar fi geometria piesei, materialul matriței, numărul cavităților pentru fiecare matriță. Prin progresele înregistrate în tehnologia informațională și inteligența artificială, s-a ajuns la reducerea costurilor și a timpului în proiectarea și fabricarea matriței prin injecție.

Proiectarea matriței prin injecție trebuie să fie zona principală de cercetare, întrucât este un proces complex, care presupune mai multe sub-proiectări ale diferitelor componente din matriță, fiecare necesitând cunoștințe și experiență calificată.

Proiectarea matriței influențează și productivitatea, costurile de întreținere a matriței, capacitatea de fabricare a acesteia și **calitatea piesei injectate**. Volumul de muncă, implicat în proiectarea matriței, a fost direcționat sistemelor profesionale de aplicații, sistemelor bazate pe cunoștințe și inteligență artificială, pentru a elimina sau suplimenta experiența umană, necesară în procesul de proiectare tradițională (exemplu Catia, ProEngineering, SolidWorks, etc.).

O zonă, din proiectarea matriței prin injecție, care s-a bucurat de puțină atenție, este **proiectarea cavității**. Ea influențează direct întregul proces de formare prin injecție, întrucât este una din cele mai importante faze.

Considerarea proiectării cavității în faza inițială a proiectului va îmbunătăți **calitatea produselor** modelate prin injecție, deoarece este asociată cu stabilirea mai multor factori-cheie care influențează proiectarea și calitatea matriței. Asemenea factori pot fi:

- număr de cavități;
- linia de separație;
- tipul matriței;
- tipul și poziția punctului de injecție;
- sistemul de distribuție;

- sistemul de răcire;
- sistemul de aruncare.

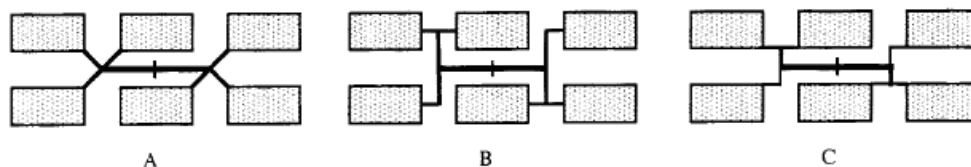
Unii dintre acești factori sunt greu de creat drept modele matematice reale pentru analiză și proiectare. Practica actuală în proiectarea matriței prin injecție, mai ales în proiectarea cavității, depinde în mare măsură de experiența și cunoștințele proiectanților. De aceea, ar fi de dorit să folosim cunoștințe din inginerie, inteligența artificială și tehnici de proiectare inteligente în generarea corectă și eficientă a unui proiect acceptabil pentru dispunerea cavității în matrița prin injecție. În proiectarea matriței, majoritatea modelelor, regulile și principiile privind dispunerea cavității, pot fi ușor reprezentate sub forma cunoștințelor, care pot fi utilizate în majoritatea sistemelor de proiectare bazate pe cunoștințe.

Proiectarea matriței prin injecție implică, în primul rând analizarea proiectului pe următoarele elemente sau subsisteme:

1. tipul matriței;
2. numărul cavităților.

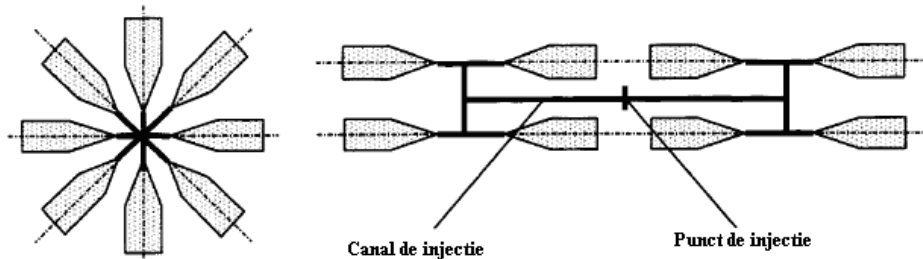
Evident, în proiectarea matriței prin injecție, este dificil pentru designer să monitorizeze toți parametrii proiectului. Proiectarea și așezarea cavității influențează majoritatea altor activități. Se observă din figura 1.10 că este posibil un număr de diferite modele de dispunere a cavităților multiple în interiorul unei matrițe. Cu cât este mai mare numărul de cavități, cu atât mai mare va fi productivitatea matriței prin injectare.

Acest lucru duce la probleme legate de echilibrul elementelor de ghidare sau la apariția unor produse cu forme complicate ale cavității, ceea ce în final, conduce la probleme privind capacitatea de fabricare a matriței. Este posibil, de asemenea, ca numărul cavităților și modul de dispunere a acestora să influențeze stabilirea liniei de separare, tipul și poziția punctului de injecție, sistemul de distribuție și de răcire. Majoritatea activităților principale din proiectarea matriței sunt legate de proiectarea dispunerii cavității.[HU 02]

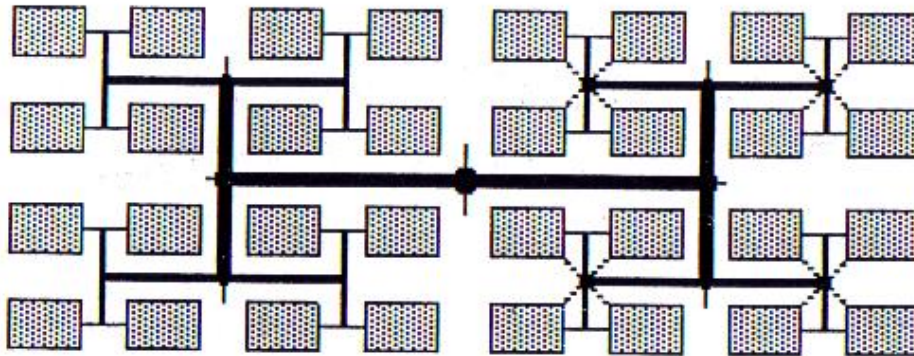


b). 6 cavități de matriță dispuse rectangular

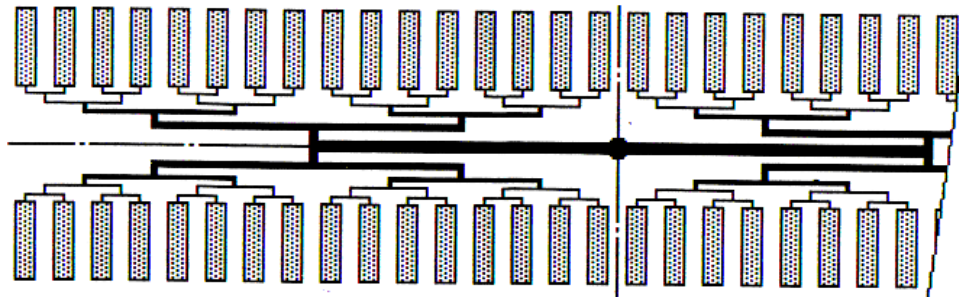
A – canal de injecție în Y; B – canal de injecție în H cu două schimbări în direcția curgerii materialului plastic; C - canal de injecție în H cu trei schimbări în direcția curgerii materialului plastic



a). 8 cavități de matriță dispuse circular și rectangular



c). 32 cavități de matrice dispuse rectangular cu canal de injecție în H (în alternanță cu canal de injecție în X - linie întreruptă)



d). 64 cavități de matrice

Figura 1.10 Tipuri de dispunere a cavităților în matrice [REE 02]

1.6 Concluzii

În ultimii 50 de ani producția mondială de materiale plastice (polimerice) a înregistrat o permanentă creștere impunând plasturgia ca unul din cele mai dinamice sectoare de activitate. Cu un ritm mediu de creștere de 15%, ceea ce înseamnă dublarea producției la fiecare 5 ani, prognozele pentru anul 2000 au fost confirmate prin prelucrarea a peste 300 milioane tone de material polimeric. Chiar dacă în prezent ambalajele - alături de bunurile de larg consum - domină piața, se înregistrează o evoluție tot mai evidentă spre abordarea unor sectoare specifice tehnologiilor de vârf cum sunt cele din electronică, energie nucleară, aeronautică.

În Franța, a patra producătoare pe plan mondial, lucrează în domeniul plasturgiei circa 250.000 salariați cu o cifră de afaceri de peste 250 miliarde de franci.

În economia românească, în ciuda asimetriilor actuale și a dificilului proces de restructurare, plasturgia prezintă un sector activ și în creștere mai ales prin apariția alături de întreprinderile existente a numeroase întreprinderi mici și mijlocii.

2. CONCEPTUL ȘI TEHNICA DE REVERSE ENGINEERING

2.1 Principiul Reverse Engineering

Originea reverse engineering-ului provine din industria japoneză, care folosea acest proces pentru creșterea producției în condițiile unei concurențe mari a produselor, și evitând astfel efortul întâmpinat la designul original. Reverse Engineering-ul, folosit la început de toți cei care au pierdut proiectul de concepție original, a devenit azi o știință ingierească.

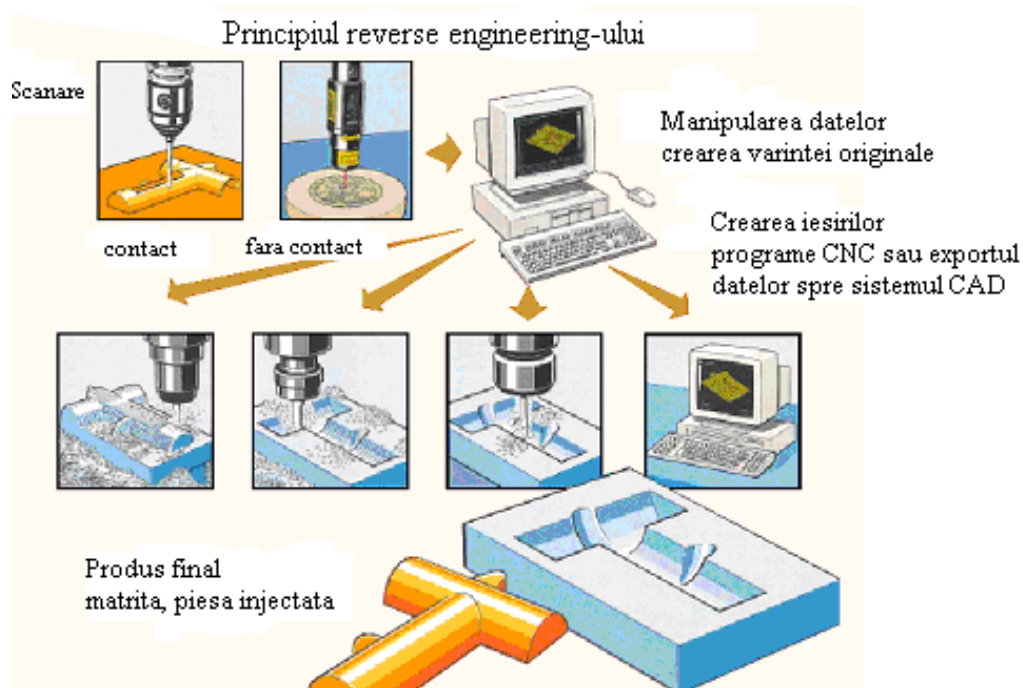


Figura 2.1 Principiul reverse engineering [REN 00]

*Întru cât traducerea termenului de reverse engineering în cea mai acceptabilă formă ca „ingineria inversă” conduce la pierderea sensului inițial, și se dovedește inadecvată prin sensurile pe care le-ar putea induce din punct de vedere lingvistic, credem ca este mai indicat să se adopte reverse engineering ca termen explicativ al unei tehnici speciale.

Succesul japonezilor în ceea ce privește noile produse a condus de la început la considerarea revers engineering-ului ca și proces de design. Multe colegii americane au cursuri despre "ingineria inversă"* (reverse engineering) bazate pe redesign, în loc de designul original. Procesul de redesign a fost inițiat prin observarea și testarea produsului. Ulterior, produsul a fost dezasamblat și fiecare componentă a fost analizată în funcție de forma sa, rol funcțional, toleranțe de asamblare și proces de fabricare. În anii ce au urmat europenii și americanii au realizat instrumente puternice care conduc astfel la reducerea ciclului de obținere al produselor.[ANO 01]

Softul puternic dă noi semnificații reverse engineering-ului. Calculatoarele pot fi folosite acum pentru vizualizarea 3D a piesei, realizarea schimbărilor de formă și dimensiuni (redesign), testarea și simularea măsurării. [WU 04]

De regulă, cele mai multe procese de reverse engineering pot fi folosite fără realizarea propriu-zisă a unui prototip. O soluție este folosirea unei mașini de măsurat tridimensional pentru a palpa suprafața piesei ce trebuie copiată. Datele digitale obținute pot fi apoi prelucrate prin softuri CAD/CAM. [ZHA 03] Cele mai multe companii au astăzi două componente de bază necesare pentru realizarea reverse engineering-ului : **o mașină de măsurare tridimensională și softul pentru prelucrare.** În figura 2.1 este prezentat principiul RE.

2.2 Nevoia de Reverse Engineering și rolul acestuia

Pentru mulți, termenul de reverse engineering (RE) reprezintă viziuni simplificate ale unor ingineri strânși în camere mici dezasamblând produse pentru a "fura" secrete comerciale. Deși acest lucru se poate întâmpla, termenul este acum aplicat procesului general de **remodelare a unui obiect (model geometric) cu ajutorul computerului.**

Această geometrie 3D poate fi forma unui obiect real fabricat pe o mașină sau poate fi ceva de tipul unei forme organice precum o plantă sau corpul uman. Când software-ul a fost creat pentru modelarea geometrică la sfârșitul anilor 60 și începutul anilor 70 (software de design cu ajutorul computerului, CAD) s-a atribuit mai multă importanță definirii geometriei pe computer. Pentru produsele fabricate consecința a constat în faptul ca toate aceste produse au fost realizate cu ajutorul computerului, și nu s-a mai revenit la situația anterioară. 30 de ani mai târziu aceasta filozofie pare să fie în funcțiune. Pentru a rezolva această problemă numeroase companii au dezvoltat servicii digitizate de dezvoltare a datelor și software, direcționate către piața RE.

Chiar dacă mulți fabricanți de obiecte își definesc produsele pe computer, folosind anumite tipuri de software dedicate modelării geometrice, acele companii care produc piesa s-ar putea să nu obțină geometria existentă pe computer.

De exemplu cineva vrea să introducă forma unui vechi VW Beetle pe computer astfel încât să poată construi o structură a mașinii la scară. De asemenea ar putea exista cineva care să vrea să capteze forma unui avion pentru a-l pune într-un program simulator. Pentru obiecte imposibil de proiectat precum stâncile, copaci și oameni (câteodată numite ca obiecte organice sau „free forme”) nu există modele computerizate și nu există altă soluție decât remodelarea formei lor pe computer.

Există 3 etape în procesul de RE:

- Prima etapă este folosirea unui dispozitiv sau tehnica pentru introducerea elementelor de geometrie a obiectelor. Datele sunt de obicei în forma punctelor

X,Y,Z ale obiectului relativ cu sistemul local de coordonate. Aceste puncte pot sau nu pot să fie într-o ordine particulară.

- A doua etapă este folosirea unui program computerizat pentru a citi aceste date și pentru convertirea lor într-o formă folositoare. Această etapă nu este atât de ușoară precum ar părea.

- A treia etapă este transferarea rezultatelor din software RE în software de modelare sau aplicație 3D, astfel încât acțiunea dorită de geometrie să fie îndeplinită. Câteodată etapele 2 și 3 pot fi făcute în cadrul unui singur program.[HOL 06]

Ingineria este profesia implicată în designul, fabricarea, construcția și întreținerea produselor sistemelor și structurilor. La nivel înalt există 2 tipuri de inginerie : **ingineria directă** și **reverse engineering-ul**. [HUS 06]

Ingineria directă este procesul tradițional de dezvoltare de la abstracțiunile de nivel înalt și designul logic, la implementarea fizică a unui sistem. În câteva situații poate exista o piesă fizică fără alte detalii tehnice, de exemplu desene, lista de materiale, sau fără date ingineresti de exemplu proprietăți termice și electrice.

Procesul de reproducere a unui component existent, subansamblu sau produs, fără ajutorul desenelor, documentației sau a unui model computerizat este cunoscut ca **reverse engineering**. RE poate fi privit ca procesul de analizare a unui sistem pentru :

- Identificarea componentelor sistemului și relațiile dintre ele;
- Crearea reprezentărilor unui sistem într-o altă formă sau într-un nivel mai înalt de abstractizare;
- Crearea reprezentării fizice a acelu sistem.

RE este foarte comun în diverse domenii precum ingineria de software, în industria construcțiilor de mașini, produse de consum, microcipuri, chimicale, electronice și design mecanic.

De exemplu, când o nouă mașină intră pe piață, fabricanții aflați în competiție pot cumpăra mașina respectivă și o pot dezasambla pentru a învăța cum a fost construită și cum funcționează. O companie chimică poate folosi RE pentru a învinge un patent al fabricantului competitor. În ingineria civilă proiectele pentru poduri și clădiri sunt copiate din realizările de succes anterioare astfel încât să existe un risc redus pentru producerea unor catastrofe. În ingineria software un cod sursa satisfăcător este adesea o variație a altuia.

În câteva situații designerii pot crea o formă a ideilor lor utilizând lut, ipsos, lemn, dar un model CAD este necesar pentru realizarea piesei respective. Cum produsele devin din ce în ce mai organice în formă („free forme”), proiectarea în CAD poate deveni dificilă sau chiar imposibilă. Nu există garanție că modelul CAD va fi apropiat celui al modelului fizic. RE oferă soluția acestei probleme deoarece modelul fizic este sursa de informație pentru modelul CAD. Acesta poate fi recunoscut ca parte a procesului CAD.

Un alt motiv pentru RE este de a comprima timpul necesar dezvoltării produsului. În cadrul pieței globale extrem de competitive fabricanții caută în mod constant noi metode de a reduce timpul de producție a unui nou produs.

Dezvoltarea rapidă a unui produs (DRP) se referă la tehnologiile recent perfecționate și la tehnicile care îi ajută pe producători și pe designeri în convergența cerințelor pentru reducerea timpului necesar dezvoltării. De exemplu companiile care fabrică produse prin injecție trebuie să-și reducă drastic timpul necesar dezvoltării matritelor. Prin utilizarea RE un produs 3D sau un model poate fi

rapid transformat în formă digitală, remodelat și pregătit pentru rapid prototyping sau fabricare rapidă (rapid tooling).

Avem următoarele motive pentru RE al unei piese sau al unui produs :

- Producătorul original al unui produs nu mai produce produsul respectiv;
- Nu există documentație adecvată a desenului original;
- Producătorul original nu mai există, dar cerințele clienților rămân;
- Designul original și documentația sau pierdut ori nu au existat nicodată;
- Câteva caracteristici negative ale produsului trebuie îndreptate;
- Uzura excesivă poate indica locul unde un produs trebuie îmbunătățit;
- Îmbunătățirea calităților unui produs supus utilizării pe termen lung;
- Analiza caracteristicilor pozitive și negative ale produsului competitor;
- Explorarea unor noi metode de a îmbunătăți performanțele și caracteristicile;
- Pentru a asimila metode competitive de referință, pentru a înțelege produsele competitorilor și pentru a dezvolta produse mai bune;
- Modelul CAD original nu este suficient pentru a susține modificările sau metodele curente de fabricare;
- Furnizorul original nu este capabil sau nu dorește să ofere piese adiționale (de schimb);
- Fabricanții care oferă echipament original nu doresc, ori nu pot să ofere piese de schimb sau cer costuri exagerate pentru piese de bază;
- Pentru a îmbunătăți materialele uzate moral sau procesele de fabricare învechite cu tehnologii curente și mai puțin costisitoare; [VĂR 96], [FEN 00], [RIN 02]

RE oferă reproducerea unor piese existente prin redarea dimensiunilor fizice ale componentelor, caracteristicilor și proprietăților materialului. Înainte de a aborda RE, ar trebui realizată o analiză bună a ciclului de viață și a analizei costuri-profit pentru a justifica proiectele RE.

RE este de obicei eficientă din punctul de vedere al costului, doar dacă produsele destinate RE necesită o investiție ridicată sau vor fi reproduse în cantități mari. Acesta este cazul produselor realizate prin injecție (serii mari) din materiale plastice. RE unei piese poate fi încercat, chiar dacă nu este eficient din punctul de vedere al costului în cazul în care piesa este absolut necesară și rolul ei este critic într-un sistem. RE unei piese mecanice presupune achiziția datelor 3D în "nor de puncte" folosind instrumente de achiziție a punctelor. Reprezentarea geometriei piesei în termen ai punctelor de suprafață este primul pas în crearea suprafețelor parametrizate. O suprafața "polymesh" reușită este creată din norul de puncte folosind software RE. Polymesh-ul obținut, curbele NURBS sau suprafețele NURBS sunt transpose pachetelor CAD pentru a îmbunătăți ulterior analiza și generarea de traiectorii pentru proiectarea tehnologică. Aceasta produce în final piesa fizică. [CHA 06, CHE 99]

Se poate spune că **RE începe cu produsul și lucrează în cursul procesului de design în direcție opusă pentru a ajunge la o stare de produs finit** [MAT 06] (fig.2.2).

Prin procesul de RE se pot obține idei de design care au fost folosite în producerea unui anumit produs. Dacă ești rugat să livrezi clientului modele geometrice precise ale pieselor, lucrul acesta nu va fi deloc ușor. Poate sună ironic dar multe companii nu au aceste modele geometrice recente ale pieselor lor, iar altele nu le-au avut de nici un fel. Fabricanții de precizie pot oferi modelele geometrice ale pieselor clienților lor folosind un proces numit RE. RE este definit de Military handbook ca **"procesul de realizare a replicii unui produs funcțional și**

dimensional, prin examinare fizică și măsurarea piesei existente, pentru dezvoltarea datelor tehnice fizice și a caracteristicilor de material necesare pentru obținerea competitivității.” [REV 04]

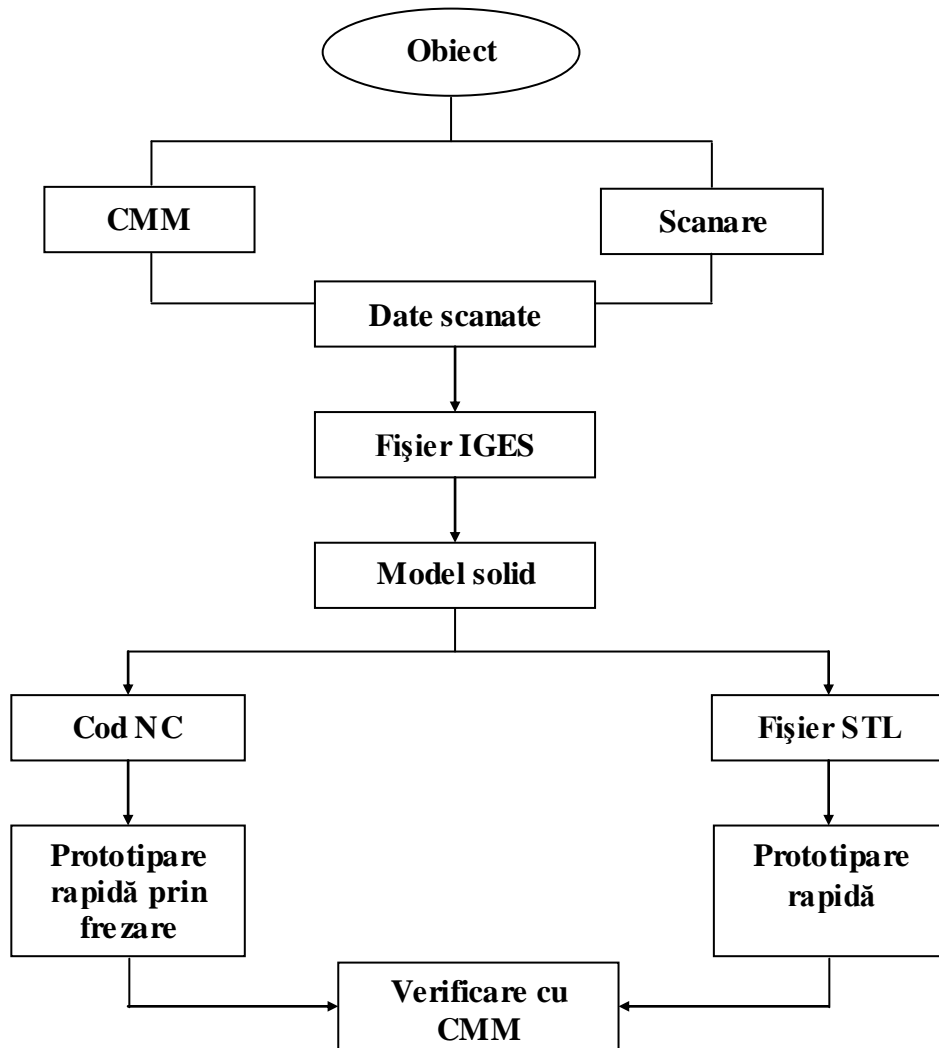


Figura 2.2 Schema de principiu a RE [COS 05a]

Dar mai simplu, RE este procesul de creare al unui model geometric a unei piese, prin măsurarea piesei, pentru determinarea dimensiunilor și a toleranțelor posibile acolo unde nu există specificații formale. Dezvoltarea toleranței, de obicei cel mai dificil aspect al procesului RE, poate fi atinsă doar prin “cunoașterea” piesei și a modului în care ea este utilizată.

RE poate fi folosit în procesul de redesign, precum și în introducerea noilor produse. În unele cazuri, poate fi mai ușor să dezvolti modelele geometrice ale unui produs existent și să le modifice într-un sistem CAD decât să le creezi de la început.

Acest lucru se adresează în special formelor complexe care sunt dificil de conceptualizat. Un astfel de exemplu este prezentat în figura 2.3.

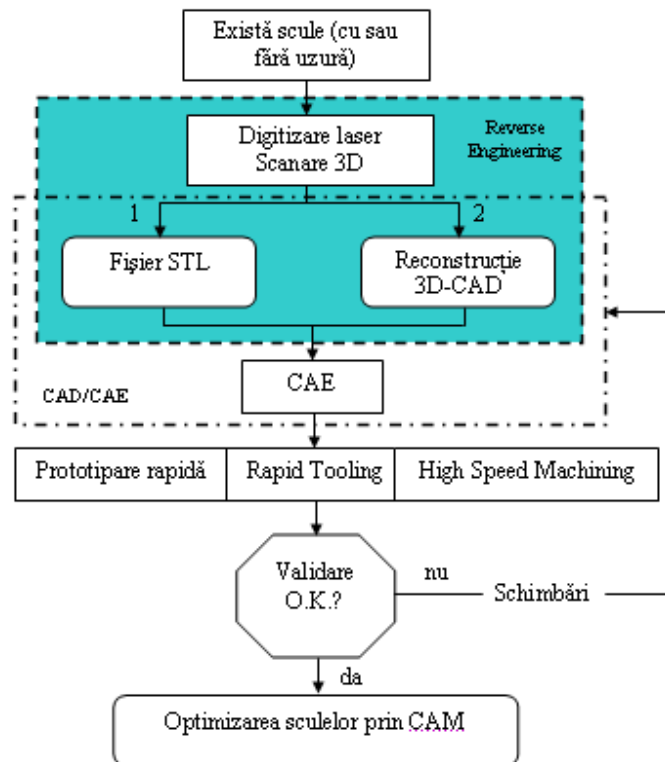


Figura 2.3 Reconstrucția unei scule
1-fără schimbări ; 2-cu reconstrucție [FER 03]

Într-un asemenea proces un model fizic este măsurat și dimensiunile sunt imediat digitizate și colectate într-o bază de date. În continuare, datele digitizate sunt transferate unui sistem CAD unde suprafețele sunt dezvoltate și modelele geometrice finalizate. Pe lângă reducerea riscului de erori în măsurare, procesarea electronică a datelor reduce semnificativ timpul necesar efortului RE. Digitizatoarele pot varia în complexitate și acuratețe, de la unități manuale la sisteme rigide bazate pe laser. Chiar și MMT au accesorii software pentru efectuarea măsurărilor și translatarea lor în diverse formate CAD. Digitizatoarele manuale sunt în general mai ieftine și permit utilizatorilor munca în manieră liberă. Utilizatorii doar ating modelul cu palpatorul și datele sunt înregistrate. Digitizatoarele laser și vizuale sunt de obicei mai scumpe, dar aduc automatizarea procesului și oferă un control mai precis al măsurării. Ele scanează profilul modelului și generează automat un număr larg de puncte a unei serii de secțiuni. Nevoia pentru RE a crescut, se semnalează o mărire a numărului și tipurilor de pachete comerciale disponibile. Aceste pachete pot fi împărțite în două grupe : sisteme izolate și sisteme integrate CAD.

RE este o tehnologie care în anii următori va figura din ce în ce mai mult în cicluri de dezvoltare rapidă a produselor. Rolul său va deveni mai important de

vreme ce un număr ridicat de prototipuri și modele sunt produse prin tehnologii precum rapid prototyping. Modificarea acestor modele va necesita RE ca mod de realizare al schimbărilor, deși acesta nu este singurul obiectiv de dezvoltare al RE.[CHA 05]

2.3 Factorii care influențează tehnica de Reverse Engineering

Alegerea mașinii de măsurat tridimensional (MMT) trebuie să se facă în funcție de produs. În funcție de aplicații, vom avea mașini de măsurare tridimensional prin palpare **punct cu punct** sau mașini de măsurare tridimensional prin **scanare**. În primul caz obținerea punctelor se face prin palpare punct cu punct de pe suprafața ce se dorește a fi măsurată.[SHA 99]

Care este diferența dintre scanare și digitizare?

Termenii scanare și digitizare sunt adesea folosiți pentru a descrie același proces. De regula termenul de digitizare este folosit pentru palparea punctelor discrete de pe suprafața de palpat. Prin introducerea noilor tehnologii de captare a punctelor (cele laser, cu camere video) termenul de digitizare este folosit acum ca și descriere universală pentru procesul de achiziție a datelor de pe suprafețe nedefinite.[REN 01] Chiar dacă palparea punct cu punct este simplă, tehnica de colectare a punctelor poate crea variații semnificative în rezultatele măsurării, variații date de dispersia punctelor de pe palpator pe suprafața de lucru. Pe de altă parte scanarea deține controlul, realizând o palpare continuă în lungul conturului suprafeței de lucru, putându-se colecta sute sau mii de puncte, indiferent de punctele de pe palpator, pentru realizarea unei geometrii corecte a suprafeței palpate. Câteva modele de palpare 2D sunt prezentate în figura de mai jos:

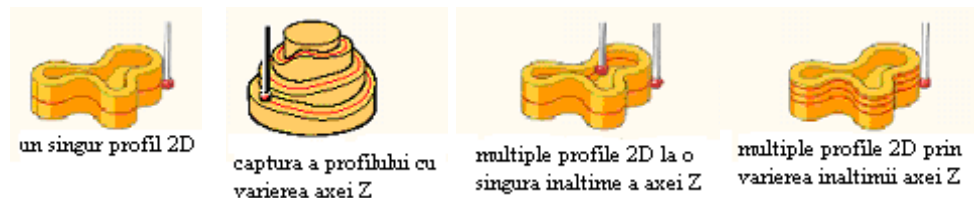


Figura 2.4 Modele de palpare 2D

Varietatea scanărilor 3D este disponibilă putând fi utilizată individual sau combinat pentru obținerea optimului la scanare. Astfel de modele sunt prezentate mai jos:

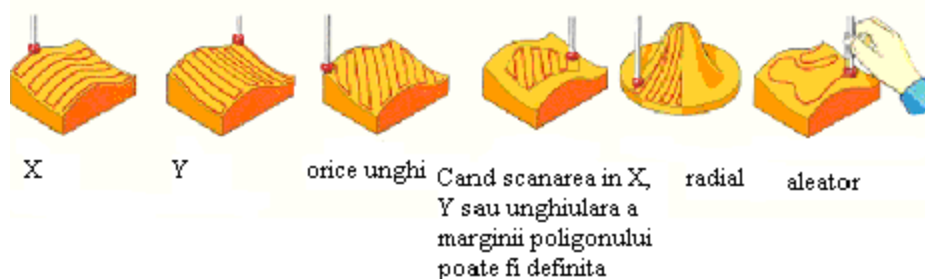


Figura 2.5 Modele de palpare 3D

Și acuratețea mașinii de măsurat tridimensional este importantă, utilizatorul trebuind să știe dacă o adevărată reprezentare a suprafeței măsurate poate fi realizată prin palparea mai multor puncte de pe piesă. De exemplu, în cazul unui orificiu, achiziționând un număr mai mare de puncte (de exemplu 200 față de 4 cât este minim) vom obține o acuratețe ridicată, deoarece calitatea diametrului orificiului calculat și poziția de palpate depind direct de numărul de puncte colectate.

Abilitatea mașinii de măsurat tridimensional, de re poziționare și revenire precisă pe piesă, este influențată de viteza cu care mașina se deplasează, lucru ce influențează foarte mult calitatea rezultatelor măsurării. Factorii care pot determina viteza de măsurare a unei mașini de măsurat tridimensional sunt accelerația, viteza maximă, viteza palpatorului, metoda de palpate (punct cu punct sau scanare) și bineînțeles puterea softului. Așadar **viteza de măsurare** este esențială pentru reducerea ciclului de reverse engineering. În cazul folosirii aplicațiilor de reverse engineering trebuie luate în considerare timpul necesar pentru instalarea piesei, scrierea programului pentru partea de reverse engineering, măsurarea respectivă și obținerea rezultatelor. Reducerea timpului de lucru în cazul reverse engineering-ului poate fi realizată prin importarea de fișiere CAD cu piese deja modelate. Acestea pot fi găsite în industrie sub format IGES, VDA-FS, ISO G-code, DXF.

Odată punctele colectate sau importate sub formă de fișier CAD, utilizatorul trebuie să folosească acel soft care să crească viteza de realizare a procesului reverse engineering.

Ideal ar fi ca softurile să:

- importe date geometrice sau virtuale în orice format;
- contureze suprafețele prin creare, modificări și analize;
- să efectueze analiza geometrică pentru evaluarea integrității formei.

Foarte important este ca softul să permită utilizatorilor vizualizarea piesei în 3D. O vedere 3D completă definește forma piesei, nemaifiind necesară utilizarea altor proiecții.

Softul trebuie să accelereze timpul de ciclu în reverse engineering prin:

- creșterea calității suprafețelor prin crearea de curbe netede și continue;
- eliminarea timpului necesar pentru pregătirea documentației;
- eliminarea prototipurilor;
- creșterea calității produsului prin analiza sculei.

Procesul de producere și verificare a producției este un timp consumat care costă. Prin intermediul softurilor utilizatorii pot alinia precis datele scanate cu modelul geometric CAD pentru a evalua diferența dintre cele două. Noile meniuri din softurile de Rapid Prototyping permit realizarea rapidă a prototipurilor sculelor.[SHA 99]

2.4 Aplicațiile RE

În prezent, RE este văzut drept calea cea mai rapidă de a "traduce" dimensiunile unui model sau forme fizice, în date digitale, astfel încât să poată fi concepute pentru ele planuri de fabricație sau reparații. Teoretic este foarte simplu. Măsurătorile sunt transcrise apoi într-un mediu digital (o platformă compatibilă CAD) sub forma unei imagini formate din puncte, șiruri de linii sau cadre de imagini. Ulterior, această imagine poate fi îmbunătățită pentru destinația sa finală pentru fabricare.

Există o mare varietate de motive pentru a utiliza RE:

- Proiectare – adaptarea unei structuri la o suprafață de contact pentru a comprima ciclul de finalizare;

- Dezvoltare – prototipare rapidă și testarea prototipului, pentru evaluări economice, ale fluxului sau de altă natură;
- Fabricarea de scule – reducerea timpului necesar prelucrării și îmbunătățirea preciziei acestora;
- Reparații – crearea pieselor noi din originale vechi, fracturate sau uzate;
- Fabricație – dezvoltarea pieselor de echipament sau structuri unice.

Pentru un proiect nou, dimensiunile unui model mecanic – din argilă, plastic, lemn sau ceară – sunt copiate digital, apoi "cosmetizate" prin programe speciale. Pentru modificarea unui produs, RE este folosit, pentru a înregistra montajul (asamblarea) sau structura de contact existentă sub forma unui fișier de imagine (format compatibil IGES), apoi pentru a-l prelucra în CAD sau un program similar pentru a termina adaptarea. În aplicațiile de reparații, prin reverse engineering se pot recrea piese pentru care nu există nici o reprezentare grafică.

Aici sunt cuprinse echipamentele îndeajuns de vechi pentru ca schițele inițiale să se fi pierdut, sau piesele unicat ce nu au avut documentație de la început. Spre exemplu, după ani de serviciu ce au inclus expunerea la o coroziune ușoară, se rupe o paletă a unui rotor pentru un compresor pneumatic. Comandarea unei palete noi de la producător ar lua opt luni. Inginerii uzinei s-au decis să reproiecteze una nouă, în baza originalului. Ei au măsurat dimensiunile originalului pentru a înregistra digital poziția paletelor, inclusiv pe cea care s-a rupt. S-au înregistrat și dimensiunile axului și pivotului. Aceste date au fost încărcate într-un program CAM și s-a întocmit un plan de prelucrare, pentru a confecționa o nouă paletă (figura 2.6).

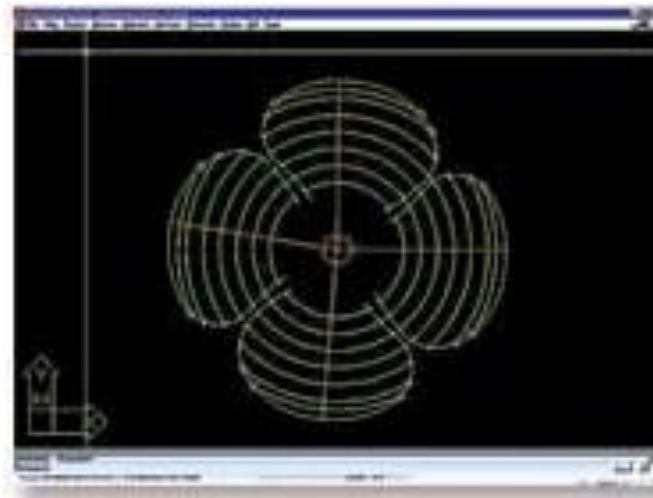


Figura 2.6 Prelucrarea CAM a noii palete [MYM 07]

Fabricația efectivă s-a realizat într-un centru de prelucrare unde noua paletă a fost tăiată dintr-un bloc de aliaj de aluminiu care avea duritate și rezistență la coroziune cel puțin egală cu originalul. De la început și până la sfârșit, proiectul a durat trei săptămâni. Fabricarea de scule și testarea produselor au și ele de câștigat de pe urma RE. Folosind un model fizic, se pot lua dimensiunile, pentru a crea orice, de la matrițe la dispozitive de prindere pentru aparatele automate de sudură (figura 2.7).

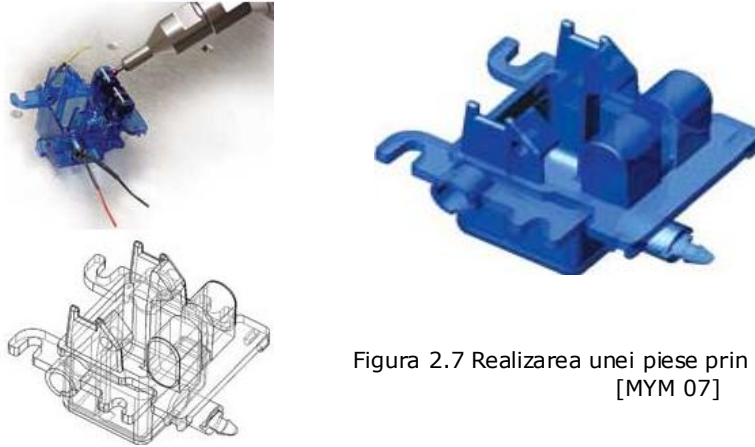


Figura 2.7 Realizarea unei piese prin remodelarea matriței
[MYM 07]

Pentru unele montaje complexe de automobile, producătorii au redus cu aproape un an timpul de definire a pieselor "prototip". În aplicațiile în care programele de calculator sunt folosite pentru a evalua un proiect – pentru analiza rezistenței materialelor, caracteristici de flux (proces tehnologic), ergonomie, etc. – imaginea recreată devine obiectul testului, oferind feedback la parametri cum sunt tiparele procesului tehnologic, capacitatea de prelucrare a materialului și punctele critice de rezistență a materialului.

2.5 Concluzii

Ameliorarea continuă a produselor și creșterea performanțelor acestora simultan cu reducerea ciclului și costurilor de fabricație au impus în ultimii ani printre altele și tehnica RE. În mod special în procesele de fabricație prin injecție a produselor din materiale plastice și a sculelor aferente (matrița) se impune tot mai mult optimizarea concepției astfel ca timpul necesar fabricației să fie cât mai scurt prin asimilarea conceptului dezvoltării rapide a unui produs (DRP). În acest domeniu tot mai des produsele devin organice ca formă (free-form), iar proiectarea CAD-CAM devine dificilă.

Utilizarea tehnicii RE permite ca un produs 3D sau un model să poată fi rapid transformat într-o formă digitală, apoi remodelate și pregătite pentru prototipare rapidă sau chiar fabricare rapidă. Un deziderat major este acela ca această tehnică a RE să ofere suficientă satisfacție din punct de vedere a performanței tehnice, dar și suficient de accesibilă din punct de vedere a costurilor.

RE este de obicei eficientă din punctul de vedere al costului doar dacă produsele destinate RE necesită o investiție ridicată, sau vor fi reproduse în cantități mari (cazul injectării în matriță). RE unei piese poate fi încercat, chiar dacă nu este eficient din punctul de vedere al costului, în cazul în care piesa este absolut necesară și rolul ei este critic într-un sistem.

3. TEHNICI DE SCANARE ȘI PROTOTIPARE RAPIDĂ PENTRU PIESE INJECTATE DIN MATERIALE PLASTICE

3.1 Tehnici de scanare 3D

În cadrul tehnicilor de RE un rol aparte revine tehnicilor de scanare și a celor de prototipare rapidă chiar dacă o procedură de RE nu presupune obligatoriu realizarea fizică a prototipului prin RE. În cele ce urmează se prezintă specificul și elementele esențiale ale celor două tehnici (respectiv a echipamentelor aferente) care vor fi utilizate în cadrul cercetărilor efectuate.

3.1.1 Digitizarea 3D

Scanarea produsului, de asemenea cunoscută ca "digitizare" sau "digitizare 3D", este un proces care utilizează un palpator pentru a capta forma obiectelor 3D și pentru a le recrea într-un spațiu de lucru virtual. Datele sunt colectate sub formă de puncte și fișierul rezultat este numit "nor de puncte". Traseul parcurs în vederea digitizării este prezentat în figura 3.1.

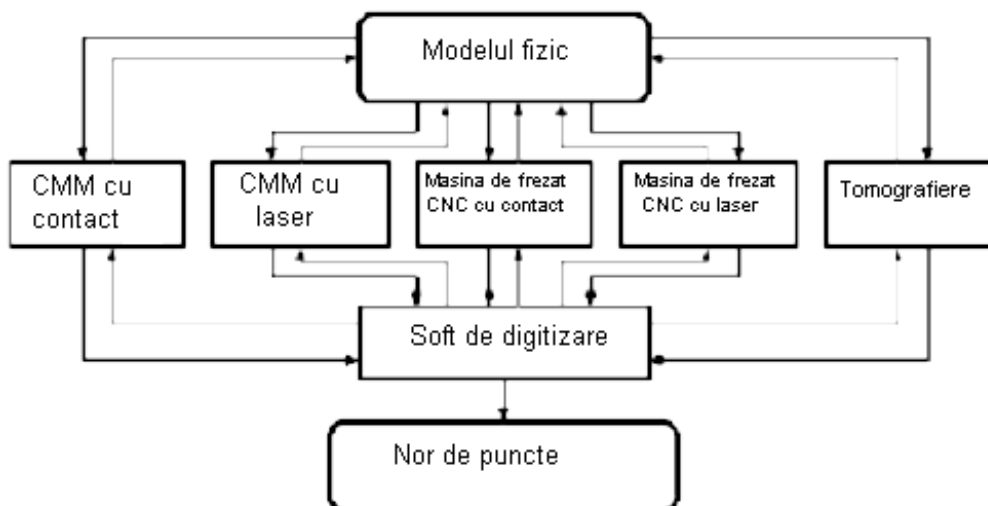


Figura 3.1 Tehnici de digitizare pentru geometrii 3D și generarea punctelor [FER 01], [SOK 06]

Care este utilitatea digitizării

Procesul de digitizare captează geometria, curbarea suprafețelor compuse și caracteristicile care sunt dificil de măsurat utilizând tehnici tradiționale de măsurare.

Care sunt limitele digitizării

Până nu demult, digitizarea era limitată de viteza de deplasare a capului de scanat. Alegerea corectă a sistemului de palpate depinde de tipul piesei ce se scanează și de bugetul alocat pentru achiziționarea sistemului de scanat. Cele mai des întâlnite sisteme sunt cele prin contact sau LASER.[SCA 06]

Alte metode de colectare a datelor precum secționarea fizică, scanarea distructivă, fotogrametria, raze X, scanarea cu tomografie computerizată și scanarea cu rezonanță magnetică sunt de asemenea disponibile.

Ce tipuri de materiale pot fi digitizate

Materialele tipice care pot fi digitizate includ: piatra, ceramica, sticla, metalul, lemnul, plasticul, cauciucul și lutul.

Care sunt rezultatele comunicate

Datele care sunt colectate pot fi transformate în nor de puncte sau utilizate pentru :

- 1.RE și pot fi oferite ca un model CAD 3D;
- 2.Prototipare rapidă după ce au fost pregătite într-un format STL, STEP sau IGES;
- 3.Inspecție a produselor pentru a fi comparate cu un model CAD existent și utilizate pentru a crea un grafic color al erorilor.

Tehnologia pe care este bazat procesul

1.Lumina este proiectată pe obiect (în cazul tehnologiilor ce folosesc lumina);

2.Obiectul reflectă lumina care este apoi colectată de un senzor digital;

3.Utilizând ecuații algebrice coordonata spațială 3D (X, Y, Z) a punctului de pe suprafață este calculată;

4.Locația punctului în sistemul de coordonate este stocată ca parte a unui nor de puncte ce reprezintă piesa fizică;

5.Milioane de puncte sunt colectate în acest fel până când întreaga suprafață a piesei sau piesa a fost digitizată;

6.Datele digitale (numite generic "nor de puncte" sunt folosite pentru RE, rapid prototyping sau inspecția produsului).[LAS 07]

Chiar dacă sunt destinate copierii sau controlului geometric, sau mai degrabă realizării modelelor geometrice virtuale sau realizării produselor, se disting 2 grupe de tehnologii : cu sau fără contact (fig.3.2)

Contactul se referă la palpate de control sau la recopiere identică a suprafețelor, în timp ce tehnologiile fără contact se dezvoltă din ce în ce mai mult în domenii de aplicații unde evoluțiile tehnice sunt rapide.[ACQ 97]

3.1.2 Impactul tehnologiei scanării 3D asupra dezvoltării produsului

Pentru a îndeplini cerințele actuale ale producției globale, companiile se concentrează asupra metodelor lor, adoptând noi tehnici și căutând noi metode de a-și eficientiza producția și costurile. Printre recente descoperiri tehnologice, există un real interes în scanarea laser, care este și rapidă și ușor disponibilă. [LEE 01]

Companiile caută tehnica de scanare ca un potențial instrument pentru creșterea productivității și pentru rezolvarea unor chestiuni în legătură cu nevoia de a crea un fișier 3D digital pentru un obiect acolo unde acesta nu a existat înainte.

Scanând o piesa 3D și trimițând această scanare unor programe de software sau prototyping oferă nu numai avantajul reducerii timpului necesar acestei sarcini, dar și economii.

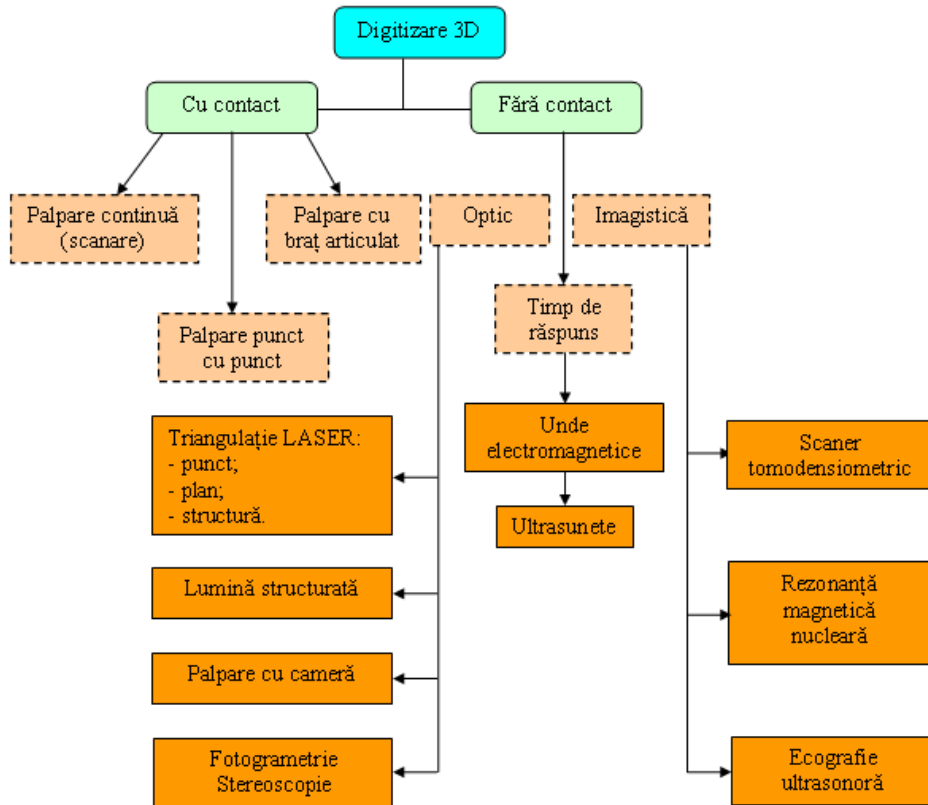


Figura 3.2 Tehnologiile de digitizare 3D [ACQ 97]

Reproducerea unui obiect prin proiectarea tradițională CAD și apoi introducerea în calculator este dificilă, și de obicei, rezultatul nu se potrivește cu originalul. Mai mult de $\frac{3}{4}$ din companii depind de sistemele vizuale pentru a-i ajuta să-și realizeze designul produselor. Această nouă tehnologie, îngăduie firmelor mari și mici să-și realizeze anumite probleme legate de computerizare, probleme care sunt extrem de importante în ceea ce privește latura lor competitivă. Scanarea laser poate oferi o diferență măsurabilă, pentru o calitate mărită și pentru accelerarea timpului necesar producerii lor, în timp ce costurile noilor produse se reduc considerabil. Scanarea laser este realizată utilizând un dispozitiv laser care colectează un șir de date.

Cea mai comună metodă pentru achiziția unui șir de date este triangulația optică. Șirul de date este produs prin plasarea unei valori pe o rețea regulată provenită de pe o suprafață a obiectului. Apoi prin conectarea elementelor triangulare cu cei mai apropiați vecini este creată o imagine. În general senzori 1D sau 2D sunt mișcați liniar de-a lungul obiectului sau circular în jurul său.

Cum aceștia nu dau suficiente informații pentru a reconstrui întregul obiect ce trebuie scanat, trebuiesc făcute mai multe treceri din orientări diferite. Sunt

necesari algoritmi speciali pentru a transforma un șir de imagini multiple într-o singură descriere a suprafeței. Deși această tehnologie a fost folosită de peste 20 de ani, recenta descoperire a senzorilor de imagine stabili, precum CCD și fotodiodele cu efect lateral, au mărit viteza și precizia sa.[CUR 97]

Există diferite tipuri de scanere care realizează acest lucru: diferențele primare se găsesc în structura iluminatului, dimensiunea senzorului (un aranjament liniar de CCD), și metodele de scanare (mutarea obiectului sau mutarea scannerului). Unul dintre beneficiile cele mai importante ale scanării 3D este mărirea vitezei cu care poate fi reprodus un prototip. Metodele tradiționale (măsurare cu șubler, micrometru), cer ca obiectul să fie măsurat și redesenat într-un program CAD. Acest lucru ia mult timp, formele organice fiind aproape imposibil de modelat prin utilizarea acestei metode. Scanarea laser este cea mai bună atunci când avem de-a face cu asemenea forme. [LI 01] Adesea, timpul necesar până la vinderea produselor poate decide evoluția noului produs. Este mult mai ușor de a prezice viitorul când acesta este la câteva săptămâni distanță decât la câteva luni. În multe cazuri timpul rezultat poate permite unui proiect de fabricare să înceapă mai târziu. Aceasta înseamnă că companiile au timpul necesar de a lucra cu clienții lor mai mult timp în procesul de concepție. Detaliile pot fi bine cercetate și necesitățile clientului înțelese înainte de etapa de producție. Procesul de scanare și posteditare poate avea loc în doar 4-5 ore. Acest tip de economisire a timpului presupune că companiile au abilitatea de a răspunde rapid schimbărilor pe piață. Și pentru că tehnologia laser de scanare este relativ rapidă ea este în general mai ieftină decât alte tipuri de scanare. S-au dezvoltat scanere care digitizează rapid corpul uman. Un alt avantaj pentru producători, constă în faptul că în multe cazuri codul G poate fi creat pentru frezarea CNC direct din date scanate sau dintr-un fișier STL fără a include etapa producerii unui model cu suprafețe NURB.[BRA 05] Aceasta înseamnă că un prototip poate fi făcut și aprobat, scanat, urmat apoi de realizarea matriței care poate fi făcută ușor și rapid, toate acestea într-o singură zi. Datele scanate pot fi traduse oricărui format de fișier : DXF, OBJ, 3D Studio Max, IGES, ASCII și STL.

Verificarea produselor este un alt exemplu al beneficiilor scanării. După ce un produs a fost realizat, el poate fi scanat și datele rezultate comparate cu modelele geometrice CAD. Deviațiile față de modelul geometric inițial pot fi determinate precis.

O alta utilizare pentru scanare, este inspecția periodică a unor piese, pentru a analiza cât de apropiat este produsul față de original. Aceasta îngăduie un control al calității îmbunătățit și ajută la detectarea greșelilor din procesul de fabricare.

Un alt avantaj care nu este atât de evident, dar care poate avea un mare efect asupra unei companii, este că odată ce obiectul se află în calculator ideile complexe pot fi aplicate ușor și precis. În ziua de azi procesele de fabricație se desfășoară în mai multe filiale a unei companii din diferite locații de pe glob. Clientul și procesul de design se pot afla într-un loc în timp ce fabricarea se desfășoară în altul. Efectul sinergetic de a avea mai mulți oameni colaborând la dezvoltarea unei idei ajută la realizarea scopului designerului și procesului de fabricare. Odată ce un prototip a fost scanat, ingineria, analiza, controlul calității și alte funcții care de obicei aveau loc consecutiv pot avea loc în mod concurrent înainte de a trimite respectivul produs spre fabricare.

Toate părțile implicate în proiect pot lucra din același fișier digital. Rezultatul este un ciclu de dezvoltare micșorat care îmbunătățește performanțele produsului și o mai mare flexibilitate la fiecare nivel.

În ceea ce privește această tehnologie, pentru utilizarea ei în industria de consum, este important de știut modul în care este adunată informația și care sunt

avantajele și limitele ei. Există mai multe variabile care afectează laserul și implicit calitatea informației. Reflectanța suprafeței, culoarea obiectului, degajările, deschiderile înguste și muchiile ascuțite pot fi dificil de scanat. [COS 05b]

Alte lucruri de luat în considerare, sunt plasarea obiectului în relație cu scannerul și experiența operatorului. Aceste considerații trebuie luate în seamă împreună cu echipamentul adecvat și experiența operatorului. Experiența operatorului este un factor critic la scanarea cu laser.

Operatorul trebuie să urmărească anumite etape și să aibă capacitatea de a prezice cum va reacționa laserul. Scanările individuale trebuie făcute cu grijă înainte de obținerea unor date acceptabile și de înlăturare a datelor neacceptabile.

Și operatorul trebuie să aibă o idee clară despre felul în care funcționează laserul. Distanța de la obiect la scanner și culoarea obiectului pot afecta laserul. [LAS 07]

3.1.3 Digitizarea și aplicațiile industriale

De mai bine de 20 de ani termenul de „digitizare 3D” a arătat lumii posibilitățile de concepție virtuală, simulare sau reverse engineering. Numeroși cercetători au avansat, mai mult sau mai puțin spre inteligența artificială, permițându-ne astfel regăsirea „reflexelor umane” pe instrumentele noastre, acum familiare, care sunt sistemele informatice. Pe acest teren numeroase tehnologii cu o mai mare sau mai scăzută precizie, flexibilitate sau rapiditate converg spre un singur obiectiv : achiziția și modelarea 3D.

O definiție simplificată precizează că **achiziția** se realizează printr-o interfață materială, cu ajutorul palpatoarelor cu senzori, și **modelarea** printr-o interfață „soft” cu ajutorul algoritmilor. [PRI 00]

Digitizarea sau numerizarea 3D consta în recuperarea dintr-un mediu informatic a unei imagini numerice a unui obiect. În aceste zile, 5 mari familii de aplicații se disting în procedeele de digitizare-numerizare :

- **reverse-engineering**, destinată micșorării timpilor de concepție asupra sistemelor CAD când se folosesc machete; în acest caz, prelucrarea norului de puncte obținut trebuie integrat într-o fază de reconstrucție a suprafețelor prin intermediul unor softuri speciale;

- **metrologie-control-calitate**, pentru măsurarea precisă a pieselor omogene cu forme complexe cu dimensiuni foarte variabile: controlul pe linia de fabricație, în scopul selectării sau stăpânirii statistice a unui proces, pentru corelarea anumitor parametrii a lanțului de fabricație (fig.3.3);

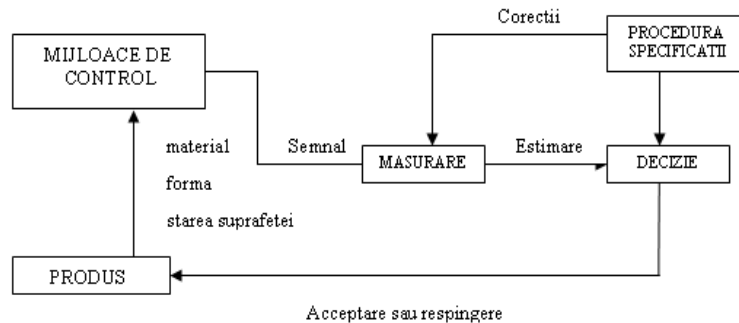


Figura 3.3 Metrologie-control-calitate: interacțiuni

- **biomedical**, pentru adaptarea protezelor înaintea intervențiilor sau în cadrul tratamentelor estetice, dar totodată și pentru caracterizarea volumică a organelor plecând de la ecografie, scanare, etc;
- **digitizarea**, înainte sau după prototiparea rapidă a sistemelor de copiere prin prelucrare pe mașini-unelte cu comandă numerică;
- **cinematografie** și animație video (imagini virtuale).

3.1.4 Tipuri de palpatoare

Pe plan tehnic, majoritatea instrumentele de digitizare a formelor folosesc principii elementare de trigonometrie, triangulație pentru determinarea coordonatelor unui punct în spațiu.

Astăzi, pentru achiziționarea punctelor de pe o suprafață, există mai multe tipuri de palpatori de digitizare.

Palpatorii se împart în două categorii:

- palpatori cu contact;
- palpatori fără contact.

3.1.4.1 Structura și principiul de funcționare al unui palpator cu contact

Palpatorul este constituit dintr-o parte fixă legată de carterul palpatorului, o parte mobilă și un arc, așa cum se arată și în figura 3.4. Partea fixă cuprinde o bucsă în care sunt trei perechi de bile poziționate la 120° și legate printr-un circuit electric.

Partea mobilă cuprinde un palpator montat pe un tripod ale cărui brațe sunt cilindrii. Cum acești cilindrii sunt așezați pe perechile de bile, legătura dintre partea mobilă și cea fixă este o legătură încastrată izostatic. Ea este menținută de către arc. Motivul izostatismului acestei legături constă în faptul că dacă un efort de contact se exercită asupra bilei de palpate, eforturile rezistente pe cele 6 puncte de sprijin variază rapid până la desprinderea unuia dintre punctele de sprijin.

Circuitul electric trecând prin 6 puncte de sprijin montate în serie este astfel deschis și interfața este capabilă să detecteze această deschidere printr-o creștere a impedanței circuitului electric (fig.3.4).

Atunci când efortul de contact dintre bilă și suprafața palpată este suprimat, repunerea în poziție a părții mobile în raport cu partea fixă beneficiază de o

repetabilitate excelentă a cărei eroare indusă este neglijabilă vis a vis de alte cauze ce produc erori.

Acest lucru este adevărat atunci când palpatorul este în stare bună, adică atunci când suprafețele de contact sferă-cilindru nu au fost deteriorate datorită unui șoc. [LAS 07]

În fig.3.5 este prezentat sistemul de palpate.

Palpatori cu contact :

- palpator mecanic punct cu punct;
- palpator mecanic analogic.

Senzorii cu contact sunt standard pe mașinile de măsurat tipice. În ceea ce privește abilitatea de a măsura caracteristici geometrice 3D pentru localizare, mărime și formă, tehnologia cu senzor cu contact este dovedită viabilă de-a lungul unui număr mare de aplicații metrologice. Multe fabricări sunt mai confortabile cu tehnologia cu senzori cu contact deoarece este foarte asemănătoare măsurării. Și abilitățile măsurării cu contact avansează continuu.

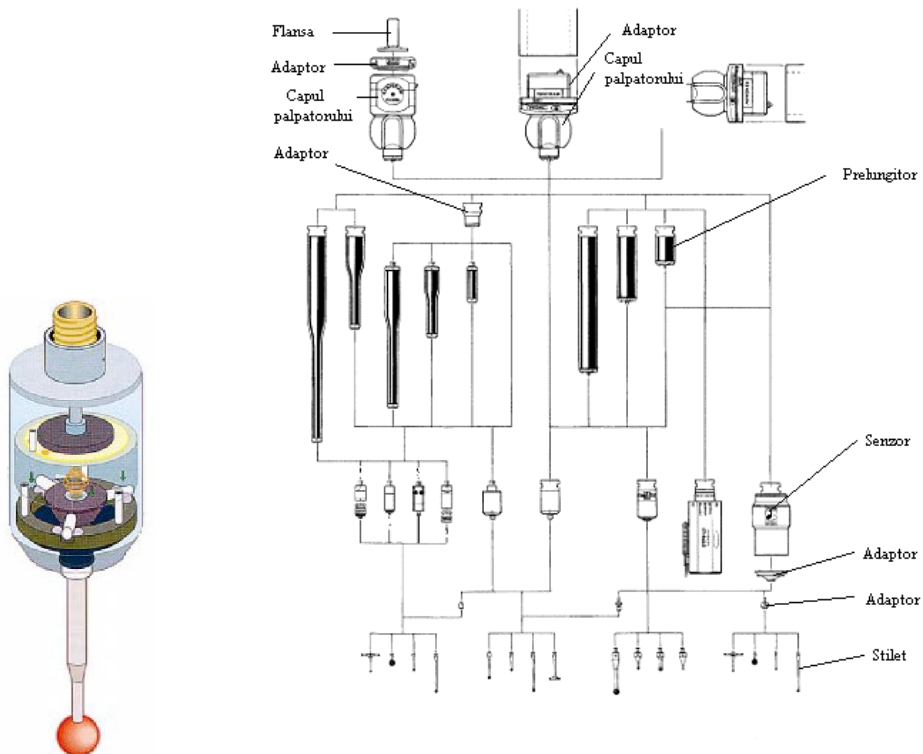


Figura 3.4 Structura unui palpator [REN 04] **Figura 3.5** Sistemul de palpate [REN 04]

Palpatori fără contact:

- palpator laser;
- palpator optic.

Senzorii cu laser noncontact și cei vizuali s-au dezvoltat ca și alternativă pentru înlocuirea celor cu contact, unde contactul fizic nu este posibil în cazul

suprafețelor fine sau finisate delicat, superfinisate sau cu asperități mari și cele cu muchii ascuțite.

Senzorii cu laser au de asemenea posibilitatea de a măsura suprafețe finisate. Sistemele cu camera video sunt folosite în cazurile în care ceilalți senzori nu pot fi folosiți, precum măsurarea razelor microscopice cum ar fi găurile cu diametre mai mici de 1 mm care pot fi ușor deformate elastic sau au caracteristici moi. [COS 05c]

O mașină de măsurat cu camera video poate crește semnificativ viteza măsurării unor repere care în alte condiții ar necesita consum de timp, poziționare precisă, sau în cazurile caracteristicilor multiple și mici sau ansamblurilor mici care pot fi vizualizate în același timp.

Tabelul 3.1 Analiza soluțiilor tehnice a diferiților palpatori [DIG 05]

Tipul tehnologiei	Avantaje	Inconveniente
Palpator mecanic punct cu punct	Foarte precis (1/100mm) Foarte economic Independent de culoare și textură Dimensiuni mici	Foarte lent (1 punct tot la 4 secunde) Presiune de contact Volum de lucru limitat Nu este adaptat pentru reconstrucția de forme
Palpator mecanic analogic	Precis Economic Independent de culoare și textură Dimensiuni mici Flexibil și optim pentru reconstruirea formelor pieselor mecanice	Relativ lent (în medie 100 puncte/sec) Presiune de contact Volum de contact limitat
Laser punct	Fără contact Relativ rapide (în medie 200...300 puncte/sec) Distanța de lucru variabilă	Depinde de aspectul suprafeței Relativ scump Nu este adaptat pentru forme foarte accidentate Precizie variabilă Utilizare relativ dificilă
Laser plan	Fără contact Foarte rapide (> 10000 puncte/sec) Distanța de lucru variabilă	Depinde de aspectul suprafeței Scumpe Precizie variabilă (1/10 mm) Utilizare relativ dificilă Zgomot și paraziți
Optic	Fără contact Foarte rapide (420000 puncte/sec) Distanța de lucru variabilă Măsurarea obiectelor mobile Dimensiuni mari	Depinde de aspectul suprafeței Scumpe Precizie foarte variabilă Tratare ulterioară complexă Utilizare complexă

Într-o lume perfectă, sau într-un mediu de producție integrat, sistemele metrologice ar fi capabile să măsoare toți parametri necesari într-o singură etapă, fără erori, și să redea rezultatele în același fel către rețelele de fabricare dotate cu calculatoare, în formate folosite pentru controlul mașinilor și managementul proceselor. Un aspect al acestei viziuni utopice este abilitatea unui instrument automat de a măsura o piesă, sau o familie de piese într-o singură etapă. Această viziune este ceea ce a condus la creșterea folosirii mașinilor de măsurat în coordonate, și acum, din ce în ce mai mult spre folosirea mașinilor de măsurat cu mai mulți senzori. Mașinile de măsurat cu mai mulți senzori pot fi numitorul comun în aceasta ecuație. Mașinile de măsurat pot combina mai mulți senzori, inclusiv palpatori cu contact și fără contact, care conduc la entități 3D prin achiziție de puncte și senzori vizuali ce sunt capabili să facă măsurări de toate tipurile. Mașina de măsurat are abilitatea de a lucra în proximitatea procesului de fabricație. Dacă mașinile de măsurat sunt deja în uz, acționarea capacității multisenzor poate fi mai ușoară, mai ieftină și să ofere mai multă funcționalitate decât s-ar crede. Dacă profilul aplicației o justifică, și configurația mașinii de măsurat o îngăduie, senzorul și pachetul de soft, de azi poate fi înlocuit cu abilitățile multisenzor.[ADA 03]

În industrie, achiziția de forme se adresează reverse engineering-ului sau reconcepției, care permite crearea unui model numeric al unui obiect în scopul realizării unui prototip sau a unei scule de fabricare (exportul datelor achiziționate spre un soft CAD). Nu se poate ignora importanța instrumentelor de achiziție care sunt senzorii cu laser, optici, ultrasonici sau video.

Intervențiile în lanțul de achiziție (senzori, sisteme integrate sau autonome) sunt într-o evoluție constantă încă de la apariția universului tridimensional virtual. Fiabilitatea, precizia, ușurința integrării și costurile sunt factorii importanți care necesită ameliorare și suport „soft”, din ce în ce mai inteligent permițând o automatizare a calcului și expresiei rezultatelor în termeni imediat utilizabili (nori de puncte, reconstrucția suprafețelor poligonale, export direct spre instrumente de CFAC sau mașini de prototipare). (fig.3.6)

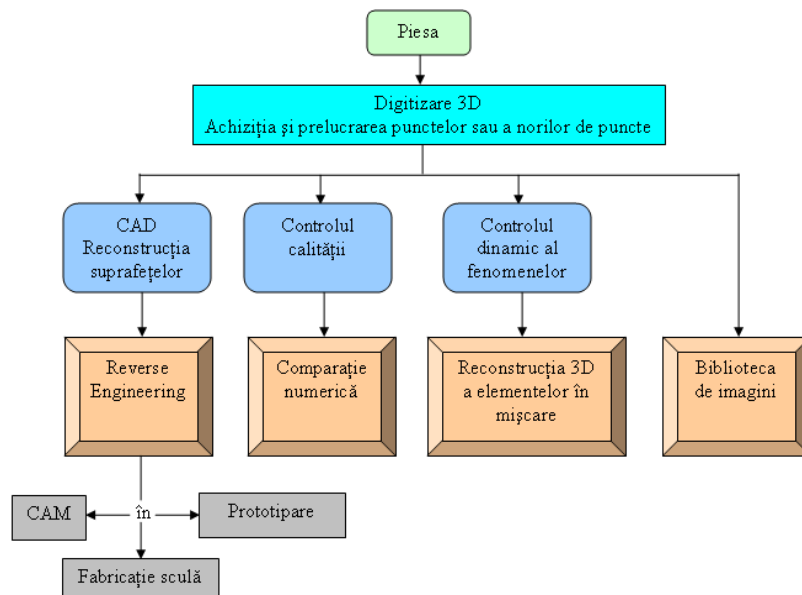


Figura 3.6 Ciclul de realizare a unei piese prin reverse engineering [ACQ 97]

3.2 Prototiparea rapidă

3.2.1 Conceptul de Prototipare Rapidă

Pe perioada ultimului deceniu un nou concept de prototipare rapidă fizică numit fabricare stratificată sau fabricare solidă fără formă a câștigat popularitate în lume.

Activitatea numită "RP" își are începuturile de abia vreo 12 ani, cu apariția sistemului stereolitografiere. Acest proces a avut un foarte mare impact în partea de design. Se baza pe un model 3D CAD și a fost anunțat ca un "proces magic", implicând surse necunoscute ca UV și polimeri fotosensibili. În mod clar activitatea de creare rapidă a prototipului nu era nouă: chiar și un proiectant putea crea modelul 3D fizic cu mâinile lui (bazându-se pe desenele 2D) mai rapid decât orice sistem de RP. Poate fi activitatea acestui proiectant (meșteșugar) numită RP sau nu?

Mulți autori folosesc definiții limitate ale RP, iar unii includ tehnologiile de creare a prototipului prin depunere în straturi subțiri de material (ca și sistemul de stereolitografiere). Aspectul important al procesului de RP ca și "cutie neagră" este translația automată a modelului 3D CAD către modelul fizic, tehnologia folosită neavând importanță prea mare.

Asocierea prototipării rapide se face și în funcție de alți termeni, așa ca în figura de mai jos:

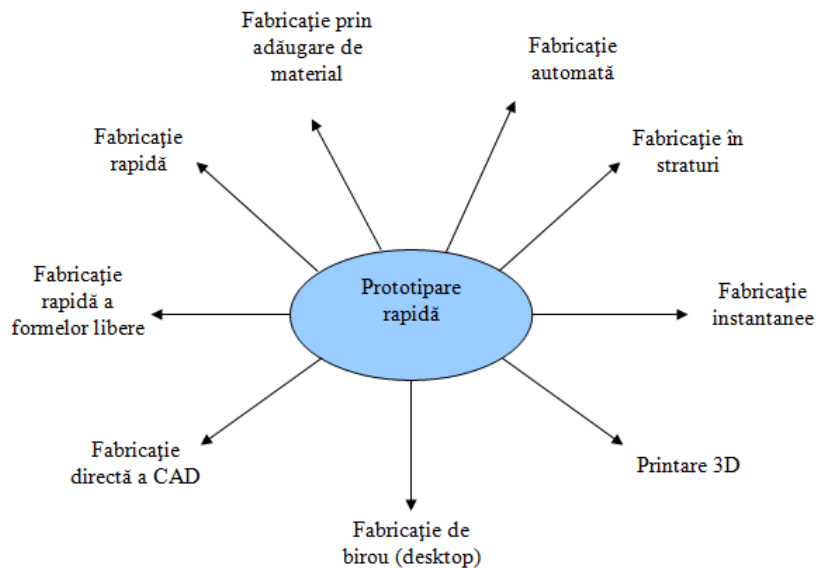


Figura 3.7 Terminologia asociată prototipării rapide [ONU 99]

Vom defini procesul de RP ca și Lennings: "Procesul care creează automat prototipul fizic pornind de la un model 3D CAD, într-o scurtă perioadă de timp". [LEN 00]

Ideea cheie a acestei noi tehnologii de prototipare rapidă este bazată pe descompunerea 3D în straturi subțiri de secțiuni transversală, urmate de formare fizică a straturilor și stivuirea lor "strat după strat". Crearea obiectelor 3D în dispunere stratificată este o idee aproape la fel de veche ca și civilizația umană (piramidele egiptene au fost de asemenea construite bloc cu bloc și strat cu strat). Așezarea în stive a straturilor de materiale în formă individuală are o veche tradiție în rândul aplicațiilor de fabricație la fel ca turnarea pieselor sau ca și topirea piesei. Ceva mai mult de un deceniu arta construcției de obiecte 3D cu straturi a fost avansată semnificativ de 3D System Inc., o companie americană din sudul Californiei. Disponibilitatea modelelor 3D computerizate a fost crucială în realizarea conceptului de creare a obiectelor stratificate, dar alte tehnologii precum sistemele laser și computere puternice au ajutat la definirea acestei tehnologii numite stereolitografie.

Această tehnologie azi este capabilă să producă structuri 3D foarte complexe cu o foarte mică sau chiar deloc contribuție umană. Apărând aproape în paralel cu progresul, stereolitografia a fost sistemul alternativ pentru fabricarea stratificată oferită de mai multe companii americane. Sunt incluse sisteme care construiesc obiecte stratificate prin laminarea straturilor de materiale (Helisys) și prin fuziunea stratificată sau legarea materialelor pulverulente (DTM, Soligen) sau extrudarea firelor de sarmă (Stratosys). Progresele au adăugat un șir de materiale noi care sunt mai bune decât polimerii utilizați în stereolitografie. Azi avantajele fabricării stratificate sunt majoritatea derivate din abilitățile sale de a crea rapid modele fizice, indiferent de complexitatea formei.

3.2.2 Tehnici de Prototipare Rapidă

Fabricarea cât mai rapidă și cu un cost cât mai redus a unui model sau a unui nou produs a fost și este un vis al oricărui inginer tehnolog. Începând cu anii '90 acest vis s-a transformat și se transformă în fiecare zi în realitate datorită apariției și implementării în practica industrială a tehnologiilor de fabricare rapidă a prototipurilor (**Rapid Prototyping - RP**), care se deosebesc fundamental de tehnologiile cunoscute și utilizate până în acel moment. Ca și noțiune, *prototiparea rapidă* este asociată cu o seamă de procedee tehnologice relativ noi ce permit realizarea rapidă a modelului fizic, a prototipurilor funcționale, a reperelor, a subansamblurilor sau a sculelor implicate în procesul de dezvoltare a produsului. Aceste tehnici de prototipare rapidă folosesc un alt principiu pentru materializarea piesei, prin adăugare de material atât cât este necesar și unde este necesar. Tehnologiile care pot fi aplicate într-un demers de prototipare rapidă ca alternativă la metodele tradiționale de fabricare sunt numeroase. Principiile folosite și condițiile de aplicare sunt extrem de variate dar, în mod invariabil, aplicarea industrială este dictată de eficacitatea dovedită în ceea ce privește impactul comercial în sensul reducerii timpului de lansare pe piață a unui produs oarecare (fig.3.8).

Frecvent, aplicarea tehnologiilor de prototipare rapidă în diferite faze de dezvoltare a produsului, determină o creștere a costurilor globale de lansare. Această situație este acceptată de factorii de decizie deoarece:

- conferă avantajul devansării termenelor de lansare și instalării rapide pe piață cu posibilitatea recuperării investiției din beneficiile suplimentare realizate;
- aplicarea acestor tehnologii permite experimentarea soluțiilor constructive ale echipamentelor tehnologice concepute, validarea sau, dacă este cazul, perfecționarea acestora înainte ca modificările ce se impun să determine creșteri exagerate ale costurilor de realizare ale sculelor.

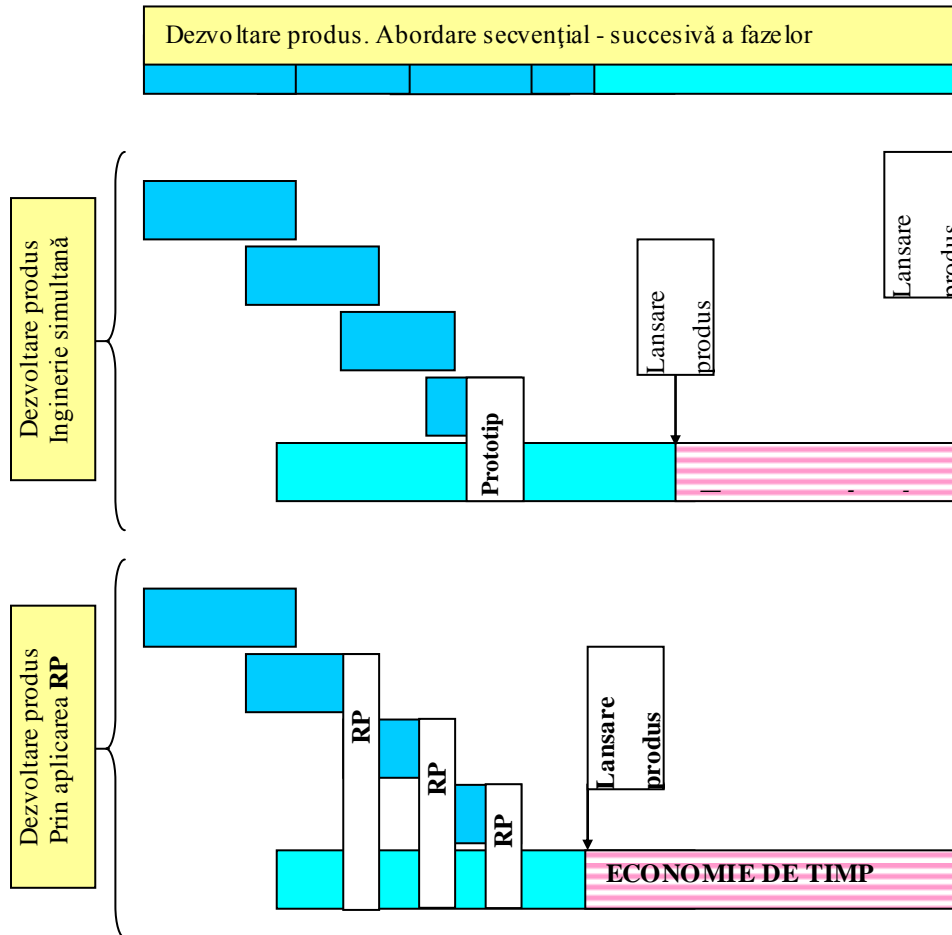


Figura 3.8 Economia de timp generată de aplicarea tehnicilor de RP

Rezultatul urmărit prin aplicarea acestor tehnologii este realizarea în termen scurt și cu investiție suplimentară neglijabilă a unui număr limitat de exemplare din:

- produsul propriu-zis ;
- replică (la scară sau din alt material) a produsului în diverse stadii de dezvoltare;

- scule și dispozitive necesare realizării produsului, pentru validarea concepțiilor de creație până în faza curentă, diferite testări și orientarea în continuare a demersului de dezvoltare a produsului.

O clasificare a tehnologiilor de fabricare rapidă a prototipurilor este prezentată în fig.3.9, clasificare care sugerează o grupare a acestor tehnologii în două categorii :

- tehnologii de formare prin depunere de material;
- tehnologii de modelare prin prelevare de material.

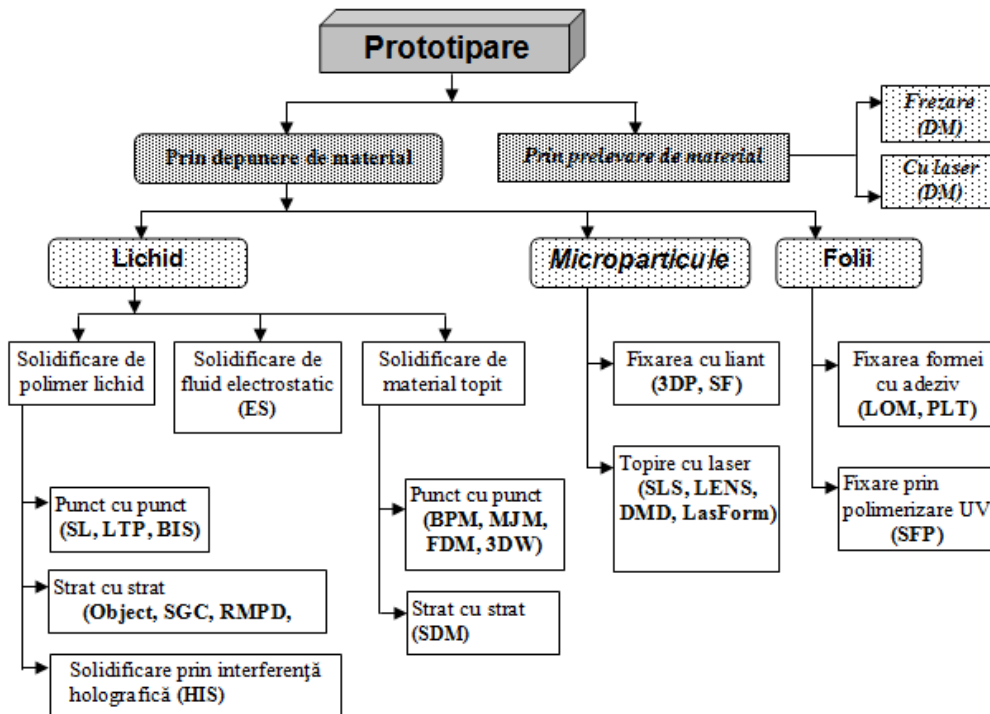


Figura 3.9 Clasificarea procedeeelor de prototipare rapidă

În continuare vor fi prezentate cele mai semnificative tehnici de prototipare rapidă:

Stereolitografierea (Stereolithography - SLA)

Principiul:

Stereolitografia a fost primul proces comercializat pe piață în 1987.[STI 01] Este cel mai pe larg cunoscut și folosit în proporție de 37% pe piață. În procesul SLA, fiecare strat este creat prin tratarea selectivă a unei rășini fotosensibile folosind un laser cu UV.

Figura 3.10 arată timpul de expunere al unui singur strat în timp ce este scanat de un laser UV. Odată ce fiecare strat este terminat, platforma de construcție este coborâtă pe o adancime egală cu grosimea unui strat și procesul este continuat până când piesa este terminată.

Deoarece acest proces folosește rășina lichidă ca material de bază, structurile de susținere sunt cerute pentru a sprijini suprafețele cu orientare în jos. Odată ce piesa a fost construită, trebuie să fie apoi tratată într-un cuptor cu UV. Odată ce acest proces este terminat, suporturile de susținere sunt îndepărtate.[NOR 01]

Există o gamă largă de materiale pentru acest proces, de la cele rezistente la umiditate, la materialele puternice și rezistente la temperaturi înalte, dar ele încă nu pot intra în competiție cu materialele plastice folosite în inginerie, cerute de ingineri.

Avantaje: precizie înaltă, gamă medie de materiale, posibila realizarea de piese de dimensiuni mari.

Dezavantaje: costuri ridicate, necesită facilități, necesită susținere, necesită tratare ulterioară.[WOR 07]

Schema de principiu:

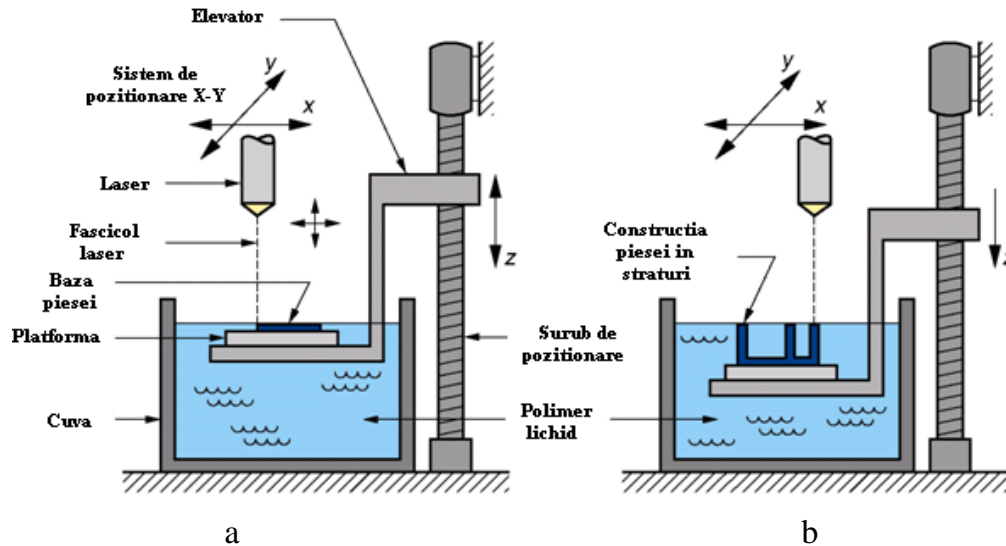


Figura 3.10 Stereolitografia: a)- la începutul procesului unde primul strat este adus pe platformă;
b)- după mai multe straturi depuse [WIL 02]

Aplicații:

Stereolitografia este o metodă economică de a verifica forma, montarea și funcționarea, precum și verificarea estetică și ergonomică a noilor produse. Acesta este și motivul pentru care stereolitografia a devenit o tehnologie folosită în aproape toate ramurile industriale.

Aplicațiile ei se regăsesc în domeniul aerospațial, armamentului, automobilelor, consumului de electronice, produse, jucării, echipament industrial, echipament medical, aplicații chirurgicale, aplicații dentare.

Depunere de material topit (Fused Deposition Modeling – FDM)

Principiul:

Diferă de majoritatea celorlalte sisteme prin faptul că nu folosește un laser pentru a crea stratul de material. Materialul sub formă de filament trece printr-un cap de extrudare și este încălzit până aproape de punctul său de topire.

Acest material este apoi scos prin capătul capului și depozitat pe masa mașinii sub forma unui singur fir de material; aceste „fire” sunt depuse unul după altul pentru a crea stratul. O dată ce stratul a fost terminat, masa de construcție coboară cu un strat și procesul continuă până când următorul strat este completat. [MAS 00]

Piesele cu suprafețe orientate în jos necesită susținere substanțială. În timp ce la celelalte procese aceste susțineri sunt generate automat, în cazul FDM se folosește material diferit de cel al piesei. Materialul este un plastic ABS, și piesele construite în timpul procesului au o tărie de 80% din cea a materialului de origine. Alte materiale includ ceara, ABS medical și un elastomer.[NIK 00]

Avantaje: precizie bună, materiale funcționale, gamă medie de materiale, întreținere ușoară.

Dezavantaje: material de susținere.

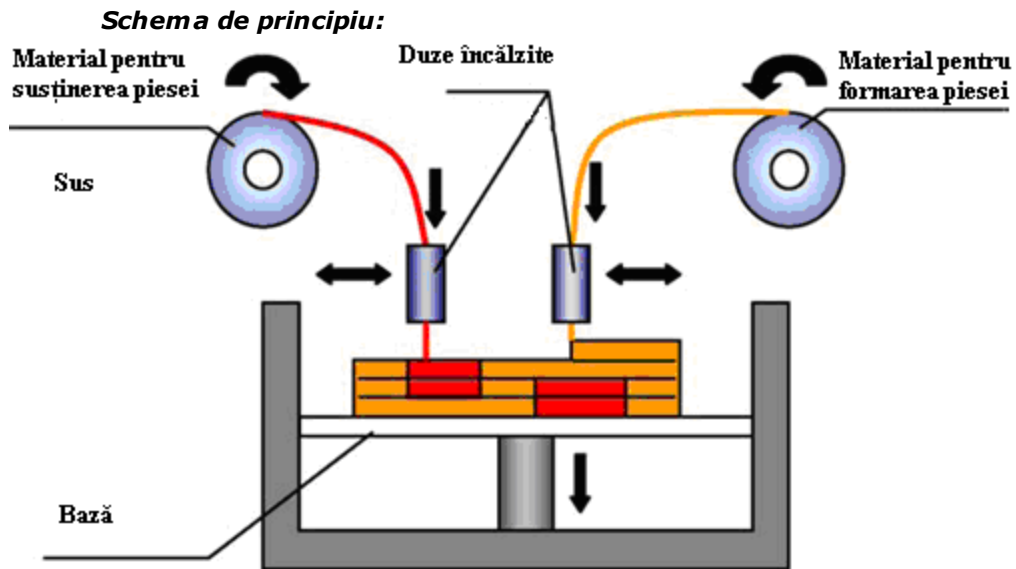


Figura 3.11 Principiul FDM [PAH 05]

Aplicații:

Se produc prototipuri pentru verificarea formei, montajului și funcționării, la cost și timp redus comparativ cu procedeele convenționale.

Fabricarea de piese stratificate prin laminare (Laminated Object Manufacturing - LOM)

Principiul:

Primul sistem de fabricare LOM a fost dezvoltat în anul 1991 de către compania Helisys.[KAI 98]

În LOM, obținerea straturilor ce compun piesa se face prin decuparea dintr-o foaie de material solid (hârtie), folosind o sursa de laser infraroșu. Materialul care nu formează stratul prezent este „făcut cuburi” care vor fi îndepărtate manual la sfârșitul procesului. Odată ce fiecare strat este terminat, este legat la cel anterior folosind un adeziv (aflat pe partea inferioara a colii de hârtie) activat de căldură.

Există în prezent un singur material folosit pentru LOM (hârtie), deși sunt o mulțime de alte materiale în curs de dezvoltare (plastic și compozit). La finalul procesului, piesa este împachetată în materialul în exces, care trebuie îndepărtat; datorită acestui lucru, procesul LOM este cel mai potrivit pentru piese mari, care nu au detalii complicate.

Avantaje: precizie bună, construcție la scară mare.

Dezavantaje: gamă limitată de materiale, proprietăți slabe ale materialelor, este necesară îndepărtarea susținerii.[RYD 02]

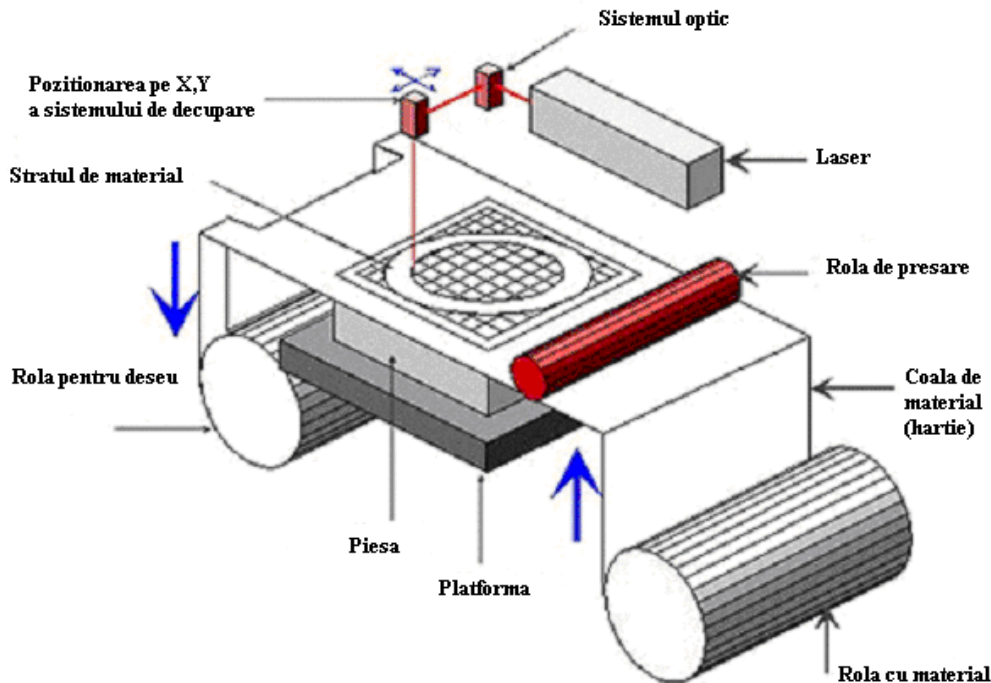
Schema de principiu:

Figura 3.12 Schema de principiu LOM [RYA 07]

Aplicații:

Se pretează în special pieselor tridimensionale voluminoase (matrițe).

Sinterizare laser selectivă (Selective laser sintering - SLS)**Principiul:**

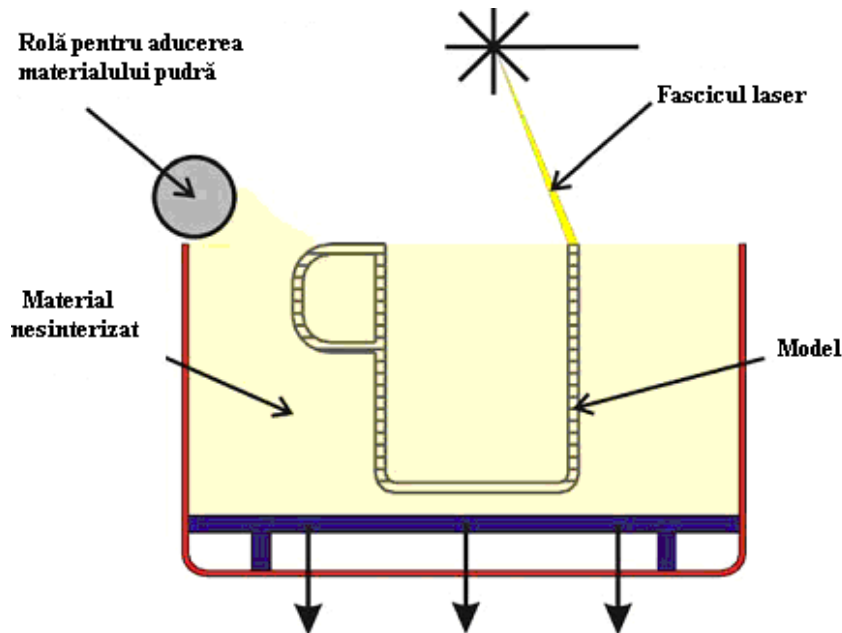
Procesul SLS este în prezent unul din cele mai versatile de pe piață, datorită în mare parte numărului mare de materiale disponibile. A fost dezvoltat de compania DTM (3D Systems) în anul 1986. [RED 06] În procesul SLS, pulberea este sinterizată selectiv sau topită de o sursă laser infraroșu.

Din nou, odată ce un strat este terminat, patul de pulbere coboară pe o grosime de un strat și un nou strat de pulbere este depus și procesul continuă. La fel ca în procesul 3DP, nu sunt necesare dispozitive de susținere, deoarece pulberea nesinterizată susține materialul piesei.

În final, suprafața piesei finalizate este puțin aspră la atingere. În prezent există șapte materiale disponibile pentru acest sistem, incluzând două materiale pentru realizarea de scule: materiale Duraform (Nylon), Glass Filled Duraform, Fine Nylon, Trueform, Elastomer, Copper Polyamide, oțel rapid și Sand Form.

Avantaje: gamă largă de materiale, precizie bună, se pot realiza piese de dimensiuni mari.

Dezavantaje: sunt cerute anumite facilități, finalizare deficitară a suprafeței.

Schema de principiu:**Figura 3.13** Principiul SLS [PAH 05]**Aplicații:**

SLS este ideal pentru obținerea pieselor care necesită durabilitate ridicată, pentru testarea funcțională a celor mai multe aplicații, este o metodă rapidă pentru dezvoltarea prototipurilor și oferă o precizie ridicată a produselor.

Printarea 3D (3D Printing - 3DP)**Principiul:**

Procesele 3DP dezvoltate de MIT în cursul anilor 90 au fost comercializate în mai multe sisteme diferite, deși numai unul, Z Corporation 3D Printer va fi descris aici. În procesele 3DP, un liant pe bază de apă este printat pe suprafața unui pat de pulbere pentru a crea un strat de material. Deoarece liantul are o vâscozitate foarte scăzută, poate fi printat într-o manieră similară unei imprimante cu jet de ceară și foarte rapid. [COS 04]

Sistemul este apreciabil mai rapid decât orice altă tehnologie de concepte de modelare, cu o rată de construcție verticală de 50.8 mm pe oră. Odată ce stratul a fost printat, patul de pulbere este nivelat la grosimea unui singur strat, un nou strat de pulbere este împrăștiat deasupra celui alt și procesul este repetat până când partea este finalizată. Acest proces nu are nevoie de susținere deoarece pulberea care înconjoară piesa susține fiecare strat consecutiv. Odată ce piesa este finalizată, este scoasă din mașină, excesul de pulbere este curățat și piesa este supusă post-procesării. În acest proces, piesele rezultate sunt destul de slabe, și au nevoie să fie infiltrate cu un material adițional. Există în prezent două astfel de materiale: ceară și rășină epoxidică.

Datorită versatilității acestui proces, potențialului de adăugare de materiale și preciziei relative a procesului, sistemul găsește o varietate de utilizări în industria

de injecție a materiale polimerice, Concept Modelling. Piesele obținute prin aceste tehnologii pot fi folosite și pentru testare funcțională, realizând însă în prealabil infiltrarea piesei cu rășină epoxidică, crescând astfel cu mult duritatea ei.

Avantaje: foarte rapidă, costuri de utilizare scăzute, servicii ușoare.

Dezavantaje: necesită pași de post-procesare.

Schema de principiu:

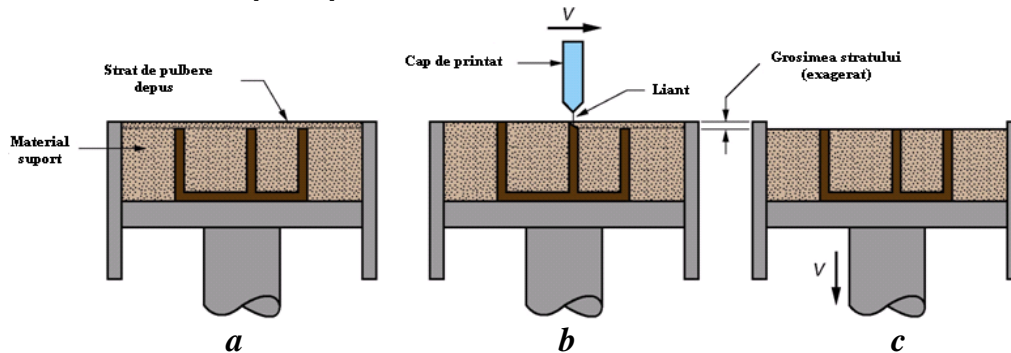


Figura 3.14 Printare 3D:

- a)- depunerea stratului de pulbere; b)- printarea zonei care va deveni piesă;
c)- pistonul este coborât pentru următorul strat [WIL 02]

Aplicații:

3DP este folosit pentru producerea rapidă a prototipurilor, a pieselor finale și a matritelor. Prin această metodă se pot crea piese de orice geometrie și aproape din orice material, incluzând aici ceramici, metale, polimeri și compozite.

Solid Ground Curing (SGC)

Principiul:

SGC a fost dezvoltat de o companie din Israel, Cubital Ltd.[MAI 95]

La fel ca stereolitografia, SGC acționează prin tratarea unui polimer fotosensibil strat cu strat pentru a crea un model solid bazat pe date geometrice CAD.

- În loc să folosească un fascicul laser pentru scanare, pentru a acționa asupra unui strat dat, întregul strat este expus unei surse UV printr-o mască situată deasupra polimerului lichid;
- Întărirea durează 2-3 s pentru fiecare strat;
- Secvența pentru fiecare strat durează în jur de 90 de secunde;
- Se susține că timpul pentru a produce o parte prin SGC este de opt ori mai rapid decât orice altă tehnică RP;
- Forma cubică solidă creată în SGC constă din polimer solid și ceară;
- Ceara oferă susținere pentru trasăturile fragile sau suspendate ale piesei în timpul fabricării, dar poate fi topită și îndepărtată de pe piesă.

Avantaje: pot fi realizate simultan mai multe piese, poziționate pe masa de lucru a mașinii, nu necesită material suport pretențios (ceară), stabilitate dimensională obținută în urma procesului (fără contracții), posibilitatea obținerii de piese complexe fără dificultăți prea mari, secvența de construire poate fi întreruptă, iar stratul eronat poate fi șters.

Dezavantaje: procesul necesită cunoștințe din partea operatorului, consumul de rășină nu ține seama de mărimea secțiunii transversale a piesei ce urmează a fi fabricată, ci depinde numai de numărul de straturi, ceea ce face ca procesul să fie

prea scump pentru piesele cu secțiunea transversală mică, costul ridicat al echipamentului.

Schema de principiu

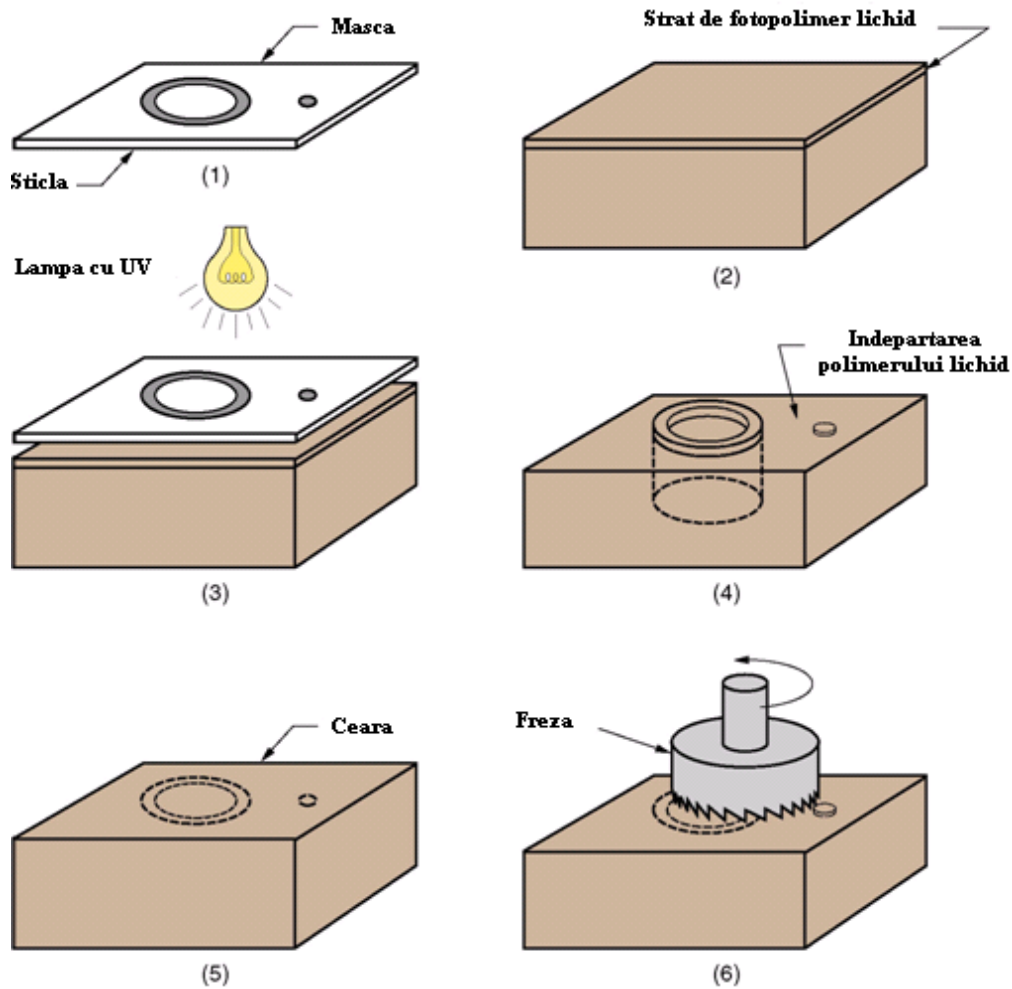


Figura 3.15 Pașii pentru procedeul SGC pentru fiecare strat:

- 1 – pregătirea măștii; 2 – aplicarea stratului de fotopolimer lichid; 3 – poziționarea măștii și expunerea stratului; 4 – îndepărtarea de pe suprafață a polimerului neîntărit;
- 5 – completare cu ceară; 6 – frezare pentru îndreptare și grosime [WIL 02]

Aplicații:

Prin această metodă se pot fabrica modele din plastic, complexe, folosite pentru validare de design, dar și ca modele funcționale.

3.2.3 Prototiparea Rapidă prin prelevare de material – frezare

Dezvoltarea Prototipării Rapide este strâns legată de dezvoltarea aplicațiilor pe calculator din domeniu. Costul în scădere al calculatoarelor, mai ales pentru calculatoarele personale sau minicalculatoare, a schimbat modul în care lucrează o fabrică. Creșterea utilizării calculatoarelor a stimulat avansul în multe domenii legate de calculatoare, cuprinzând Proiectarea Asistată de Calculator (CAD), Fabricația Asistată de Calculator (CAM) și mașinile-unelte de Control Numeric pe Calculator (CNC). În particular, apariția sistemelor RP nu ar fi fost posibilă fără existența CAD.

Totuși, din examinarea atentă a numeroaselor sisteme RP existente în prezent, se poate deduce ușor că multe alte tehnologii, altele decât CAD, și avansuri în alte domenii, cum ar fi sistemele și materialele de fabricație, au fost la rândul lor cruciale în dezvoltarea sistemelor RP.[RAP 07]

Tabelul 3.2 trasează dezvoltarea în timp a tehnologiilor relevante legate de RP de la data estimată a apariției.

Tabelul 3.2 Dezvoltarea istorică a prototipării rapide și a tehnologiilor înrudite

Anul de început	Tehnologia
1770	Mecanizare
1946	Primul calculator
1952	Prima mașină-uneltă de control numeric (NC)
1960	Primul laser comercial
1961	Primul robot comercial
1963	Primul sistem de grafică interactivă (o versiune incipientă a Proiectării Asistate de Calculator)
1988	Primul sistem comercial de Prototipare Rapidă

Deși termenul de prototipare rapidă se aplica la început tehnologiilor prin depunere de material, tot mai mulți autori [NIC 00], [CUR 03], [LEN 00], [MOD 05] folosesc denumirea de **SRP (Subtractive Rapid Prototyping)**, incluzând în aceasta categorie și **frezarea**.

SRP (Subtractive Rapid Prototyping) este un proces de transformare a modelelor geometrice digitale într-un obiect fizic. Termenul Substractiv sugerează prelevare de material în timpul procesului. Aceasta este tocmai ceea ce prototiparea rapidă CNC face. Orice model CAD, CAM poate fi îmbunătățit. Subtractive Rapid Prototyping (SRP) este un proces în care obținerea prototipului sau a piesei fabricate se realizează cu costuri scăzute. Modelul digital este remodelat și transformat într-un obiect fizic care poate fi ținut în mână.

Un proces de prototipare poate fi numit prototipare rapidă dacă:

- Procesul se bazează pe utilizarea datelor CAD tridimensionale;
- Piesa prototip este creată (aproape) automat ("aproape" se adaugă deoarece toate procesele curente implică și unele munci manuale pentru pre- și / sau postprocesare);
- Modelul este gata în câteva zile.

Rapid trebuie înțeles în opoziție cu realizarea manuală a unei piese prototip, lucru care, în general vorbind, ar necesita mai multe săptămâni. Această definiție nu include meseriașii abili, care pot realiza un model din spumă, manual, în să zicem 10 minute (literar vorbind, prototipare rapidă într-adevăr!). Aspectul important este

că nu contează tipul de proces implicat: sunt cuprinse aici tehnici incrementale (LMT = Tehnica de Fabricare Stratificată), ca și decrementale (CNC = prelucrare Numerică Controlată).

Aplicația curentă de bază a sistemelor RP constă în reducerea timpului în care un produs nou este (aproape) terminat: chiar înainte de a face cheltuielile ample legate de crearea echipamentelor de fabricație. Testarea unei piese prototip complet funcțională în acest moment oferă oportunitatea localizării greșelilor de proiectare și corectării lor în condițiile în care costurile schimbării sunt încă mici, greșeli care se poate să fi rămas neobservate la testarea numai a modelului CAD 3D.

Vezi graficul costului efectiv din binecunoscuta figură 3.16. Acest test de preproducție este vital: în multe cazuri se realizează chiar și o serie limitată de piese prototip în scopuri de testare folosind un proces de prelucrare rapidă.

Deoarece această testare de preproducție constituie aplicația de bază curentă a RP, cei mai mulți producători de sisteme RP de până acum s-au concentrat pe dezvoltarea sistemelor RP sofisticate necesare. Totuși, în ultimii ani s-a observat o divergență între aceste mașini pretențioase și un tip nou de mașini RP: Modelatoarele de Concept (Throup, 1996; Wohlers, 1997).

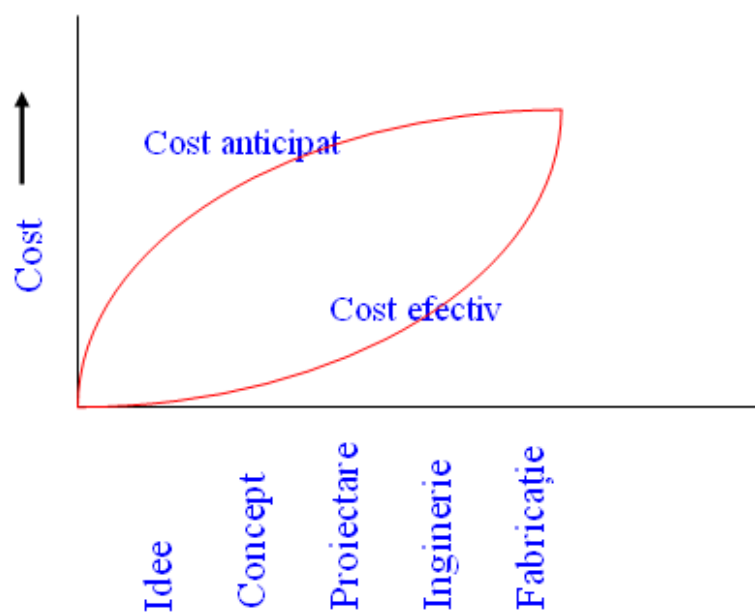


Figura 3.16 Costul anticipat și costul efectiv în funcție de stadiile procesului de proiectare (axa timpului de dezvoltare) [DES 07]

Un sistem de Prototipare Rapidă poate fi denumit Modelator de concept dacă:

1. Prețul întregului sistem este mai mic de 10 000 USD.
2. Sistemul poate fi folosit într-un birou de proiectare, fără să cauzeze nici o inconveniență legată de zgomot, miros rău sau materiale toxice.
3. Un model se poate realiza în timpul unei pauze de cafea (15 minute).

4. Operația este la fel de ușoară ca apăsarea unui buton (la fel de ușoară ca apăsarea butonului Imprimă dintr-un procesor de cuvinte).

Un sistem complet costă mai puțin de 10 000 USD (costul cel mai mic este de aproximativ 3 000 USD); piesa prototip poate fi gata în 10 minute (când se alege o precizie redusă și un material ușor cum este spuma).

Utilizarea prelucrării CNC pentru crearea de piese prototip este desigur binecunoscută, cu toate acestea până de curând această tehnică nu era tocmai rapidă. Problema principală era calcularea traiectoriilor de prelucrare, pentru care era necesar un operator experimentat al programului de calculator CAM. Acest proces ar implica aplicarea mai multor straturi de suprafață, precum și crearea și verificarea traiectoriilor de prelucrare pentru fiecare suprafață separată, lucru ce ar lua mai multe ore (Wall, 1992).

În trecut, abordarea CNC nu era potrivită pentru modelarea conceptuală, datorită investițiilor mari necesare pentru mașină și pentru programul de calculator. Ambele probleme au fost rezolvate, iar acum CNC oferă posibilități de modelare conceptuală ce sunt în fapt superioare LMT. O a patra caracteristică este costul redus al programului, care îl face nimerit pentru Modelarea Conceptuală. Și în ceea ce privește mașina, lucrurile s-au schimbat: se găsește acum o nouă generație de mașini de prelucrare CNC, cu cost redus, pentru birou. Deoarece tehnica de bază pentru CNC este mai simplă decât cea pentru LMT, prețurile acestor mașini de prelucrat sunt mult mai mici. Suficient de mici pentru a „cumpăra pur și simplu una”. Un avantaj important al utilizării unui sistem CNC pentru modelarea de concept este faptul că nu sunt necesare imagini tridimensionale veritabile (modele tridimensionale CAD - solide). Asta spre deosebire de sistemele LMT, care nu pot funcționa cu solide incomplete. În faza de proiectare conceptuală în cele mai multe cazuri se folosesc modele CAD 3D simple, constând de exemplu numai din suprafețe.

Unele birouri de proiectare folosesc chiar programe simple de calculator CAD speciale pentru proiectare conceptuală, care nu sunt capabile cu o modelare solidă (tridimensională) veritabilă. Este un lucru cunoscut utilizatorilor CAD experimentați că, trecerea la o imagine solidă veritabilă (fără tăieturi, goluri, suprafețe duplicate, etc.) nu este ușoară și poate lua de fapt câteva zile.[DES 07]

3.2.4 Noțiuni legate de piesa prototip

3.2.4.1 Definierea piesei prototip

Un prototip este o parte importantă și vitală a procesului de dezvoltare al unui produs. În orice practică de proiectare, cuvântul „prototip” nu este departe de lucrurile în care se implică proiectanții. Totuși, în proiectare, el înseamnă deseori mai mult decât un simplu artefact. A fost utilizat adesea ca verb, spre exemplu, prototiparea unui proiect de motor pentru evaluarea tehnologiei, sau ca adjectiv, de exemplu, construirea unui tablou de circuite imprimate (PCB) prototip. Pentru a fi destul de general ca să acopere toate aspectele semnificației cuvântului prototip legate de utilizarea sa în proiectare, este definit foarte pe larg aici ca: **„o aproximare a unui produs (sau sistem) sau a componentelor sale într-o anumită formă, pentru un scop precis în aplicarea sa”**.

Această definiție foarte generală se îndepărtează de conceptul general acceptat al prototipului fizic. Ea cuprinde toate tipurile de prototipuri utilizate în procesul de dezvoltare al produsului, inclusiv obiectele de genul modelelor matematice, schițelor în creion, modelelor de spumă și desigur aproximarea fizică

funcțională a produsului. Prototiparea este procesul de realizare a acestor prototipuri. Aici, procesul poate varia de la simpla executare a unui program de calculator la construirea efectivă a unui prototip funcțional.

3.2.4.2 Piese prototip

Diferite clasificări ale prototipurilor au fost incluse în numeroase lucrări. Cele referitoare la tehnica de prototipare rapidă sunt prezentate în [NOR 01], [ZOR 03].

Definiția generală a prototipului conține trei aspecte de interes:

1. Implementarea prototipului: de la întregul produs (sau sistem) în sine la subansamblele sau componentele sale;
2. Forma prototipului: de la un prototip virtual la unul fizic;
3. Gradul de aproximare a prototipului: de la o reprezentare foarte aproximativă la o copiere exactă a produsului.

Aspectul de implementare al prototipului acoperă domeniul de prototipare al întregului produs (sau sistem) la prototiparea unei părți, subansamblu sau componente ale produsului.

Prototipul complet, așa cum îi sugerează denumirea, înglobează cele mai multe, dacă nu toate, caracteristicile produsului.

Al doilea aspect, al **formeii prototipului**, ține seama de prototipul ce este pus în practică. Prototipurile virtuale, ce se referă la prototipuri intangibile, sunt reprezentate de obicei într-o anumită formă nefizică, de exemplu, un model matematic al unui sistem de control. Astfel de prototipuri sunt de obicei studiate și analizate.

Un astfel de prototip se folosește adesea, fie când prototipul fizic este prea mare și de aceea necesită prea mult timp să fie construit, fie când realizarea unui atare prototip este exorbitant de scumpă. Principalul dezavantaj al acestor tipuri de prototipuri este că se bazează pe înțelegerea curentă și de aceea ele nu vor putea prevedea nici un fenomen neașteptat. Ele sunt foarte slabe sau total nepotrivite pentru soluționarea problemelor neanticipate. Modelul fizic, pe de altă parte, este manifestarea tangibilă a produsului, construit de obicei pentru testare și experimentare. Exemple de astfel de prototipuri includ macheta unui telefon celular ce arată și este percepută fizic în mare măsură ca produsul real, însă fără funcțiile sale specifice. Un prototip de felul acesta poate fi folosit doar pentru evaluarea factorilor estetic și uman.

Al treilea aspect acoperă **gradul de aproximare** al reprezentativității prototipului. Pe de o parte, modelul poate fi o reprezentare foarte aproximativă o produsului dorit, cum ar fi un model din spumă, folosit cu precădere la studierea formeii generale și dimensiunilor produsului în faza sa inițială de dezvoltare. Unele prototipuri brute pot nici măcar să nu arate ca produsul final, însă sunt folosite pentru a testa și studia anumite probleme ale dezvoltării produsului.

Figura 3.17 prezintă diverse tipuri de prototipuri în funcție de trei aspecte ale descrierii unui prototip. Fiecare din cele trei axe reprezintă un aspect al descrierii prototipului. Această ilustrare nu se dorește a oferi o scală exactă pentru descrierea prototipului, ci servește la demonstrarea faptului că prototipurile pot fi descrise după aceste trei aspecte.

Prototiparea rapidă intră în mod tipic în sfera **prototipului fizic**, fiind de obicei foarte **precisă** și putând fi implementată la nivelul **unei componente** sau unui sistem. Acesta reprezintă volumul umbrat prezentat în figura 3.17. Versatilitatea (caracterul schimbător) și spectrul diferitelor prototipuri, de la sisteme complete la componente individuale, ce pot fi produse prin intermediul RP cu diverse

grade de aproximare, constituie o unealtă importantă pentru prototipare în procesul de dezvoltare a produsului. Adăugând avantajul major al vitezei de redare, aceasta a devenit o componentă importantă în arsenalul de prototipare ce nu trebuie ignorată.

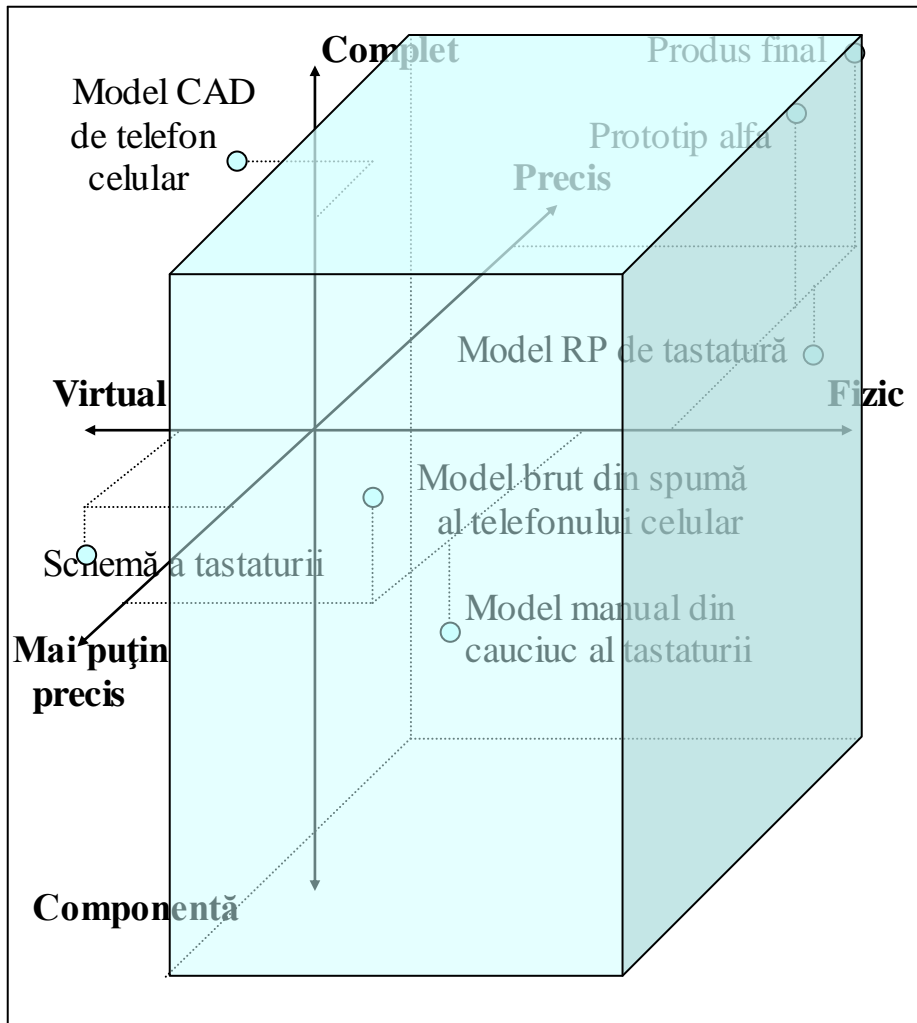


Figura 3.17 Prototipuri descrise în funcție de cele trei aspecte ale implementării, formei și aproximării [RAP 07]

3.2.4.3 Rolul piesei prototip în cazul matrițelor de injectat

Clienților le place deseori să vadă și să atingă o piesă prototip a părții actuale înainte ca să o achiziționeze. Acest lucru este adevărat mai ales când e vorba de o activitate de producție în masă, cum ar fi matrițarea prin injecție, extruziunea sau matrițarea prin rotație. Motivul este evident. Întrucât matrițele și ștanțele sunt destul de scumpe, nimeni nu vrea să investească într-un produs a cărui finalizare este incertă. Astfel, este esențial să construiești mai întâi o piesă

prototip pentru clientul tău. În funcție de mărime, formă și material, costurile pentru produsul de încercare vor varia. Schimbările pot fi făcute foarte ușor, iar costul este avantajos în această etapă a dezvoltării. Nu este întotdeauna posibil să schimbi matrița de injectat. Este fezabil, dar de cele mai multe ori, este foarte scump.

Un alt avantaj al piesei prototip este că atât creatorul acestuia cât și clientul pot lua parte la realizarea și încercarea într-o situație reală a acesteia. Modificările necesare pot fi făcute până când amândoi sunt mulțumiți de acel produs. Abia atunci poate începe producția cu încrederea de a ști că părțile vor funcționa.

Partea delicată în construirea unei piese prototip (PP) este să o faci să semene cât mai mult posibil cu produsul final și destul de rezistent pentru a se potrivi aplicației. Unele produse pot fi prea mari față de PP, în mărime reală, și atunci o PP în mărime redusă ar putea fi o soluție (bineînțeles, cu acordul clientului). Aceasta va oferi o imagine despre funcționarea și comportamentul produsului final.

Se pot găsi modele pentru toate clădirile cu conducte, rezervoare și mașini, containere speciale cu anumite funcții, capace cu forme speciale, mobilier, componente de automobile și așa mai departe. Subiectul PP este foarte vast și nu cunoaște aproape nici o limită. După cum am menționat la început, toate produsele pentru producția de masă trebuie să aibă mai întâi o PP pentru a economisi bani și nervi.

Așadar, care este cel mai bun mod pentru a crea o PP? Mai întâi trebuie ascultat clientul pentru a-i înțelege nevoile. Uneori va fi necesar să se facă modificări în proiectul original pentru a se putea produce produsul. Alegerea materialului potrivit care se va comporta bine în funcțiune este, de asemenea, important. În această etapă este nevoie de multe consultări. Nu trebuie începută construirea primei PP până când nu este finalizat proiectul și materialul. Crearea PP pentru producția de masă este un pas foarte important pentru a fi orientat mai mult către client și către costuri eficiente. De asemenea, este o piață bună de achiziționat. Cu cât este mai bună PP, cu atât mai repede se poate face produsul final. Cheia pentru a produce PP bune este să înțelegi nevoile clientului, să cunoști diferitele aplicații ale produsului și să cunoști materialele plastice și cum se lucrează cu ele.[PLA 07]

Proiectarea este o chestiune de echilibru: greutate vs. rezistență, cost vs. calitate, viteză vs. acuratețe, etc. În timp ce dezvoltarea progresa, prototipul este o parte esențială a procesului de echilibrare și reprezintă designerul cu alegerile sale. Tehnologia de proiectare a produsului ce urmează a fi injectat oferă o varietate de opțiuni. Prototiparea rapidă (RP) include stereolitografia, sinterizarea selectivă cu laser, modelarea cu depunere fuzionată, fabricarea prin laminare a obiectului și tipărirea tridimensională. Fiecare dintre aceste tehnici construiește una câte una, de la modelele 3D-CAD, unind straturile materialului pentru a crea prototipul finalizat.

Fabricația rapidă (Rapid Tooling - RT) folosește prototiparea rapidă pentru a crea inițial modelul și apoi pe baza acestuia se poate realiza matriță în care pot fi făcute modificări suplimentare. Materialele matriței pot varia de la cauciuc silicon la compuși.

În sfârșit, există și o matrițare prin injecție tradițională, care este folosită în primul rând pentru producție, dar ar putea fi folosită ușor și pentru a crea PP.

Prototiparea rapidă este cea mai rapidă metodă și poate produce forme foarte complexe, fără nici un cost suplimentar privind sculele, poate fi necostisitoare atât timp cât este nevoie numai de câteva piese. Oricum, RP nu oferă nici o economie din punct de vedere al complexității modelului ce se dorește a fi obținut, iar costurile sale cresc rapid odată cu cantitatea. Piesele pot fi făcute numai dintr-o gamă limitată de materiale și în mod tipic nu sunt finisate.

Fabricația rapidă poate produce uneori părți de o calitate mai bună decât prototiparea rapidă, deși alegerea materialelor este oarecum limitată. De asemenea, este și mai lentă și mai costisitoare datorită pasului suplimentar pentru a crea o sculă din prototipul original. Nevoia de a crea matrițe mărește costurile și poate limita complexitatea formelor care pot fi efectiv duplicate.

Matrițarea prin injecție rapidă folosește matrițe din metal pentru a produce piese cu adevărat funcționale, cu un finisaj bun și într-o mare varietate de rășini. Este similară cu matrițarea prin injecție tradițională (deși cu mult mai rapidă și mai puțin costisitoare). Este competitivă cu fabricația rapidă din punct de vedere a vitezei de lucru și oferă economisiri mai bune decât prototiparea rapidă sau fabricația rapidă.

Matrițarea prin injecție tradițională poate produce cea mai complexă și finisată piesă, dar este considerată, în general, prea lentă și costisitoare pentru PP, deși poate fi folosită atunci când este foarte posibil că matrițele vor intra direct în producția de masă.

Caracteristicile unei PP cuprind calitatea, costul și viteza cu care este făcută. Calitatea impusă unei PP poate varia în mare măsură. În etapele de proiectare anterioare, asemănarea cu o parte produsă poate fi aproximativă, dar pe măsură ce procesul se îndreaptă către sfârșit, PP trebuie să fie și mai aproape adecvată părții finalizate. Există două măsuri ale calității. Prima este forma și potrivirea în formă, mărime, finisare și, chiar, culoare. Cealaltă este adecvarea din punct de vedere funcțional, în rezistență, durabilitate, rezistență chimică, toleranță la căldură și altele de acest gen. Evident, nu există o singură alegere bună pentru toate nevoile. Prototiparea rapidă, spre exemplu, poate fi o alegere bună pentru determinarea rapidă a formei și corespondenței, dar, în general, produce părți slabe pentru testarea funcțională. Matrițarea prin injecție rapidă, pe de altă parte, este oarecum mai costisitoare, dar produce PP ideale pentru testarea funcțională. Mulți designeri dezvoltă o „**trusă de scule**” pentru metode de a face prototipuri, alegând o tehnologie specifică care corespunde nevoilor unui proiect sau unei anumite etape dintr-un proiect. Acest lucru le permite să aloce resurse, folosind banii economisiți într-o etapă pentru a grăbi operațiunile în altă etapă. Aceste PP scoase rapid și cu bani relativ puțini pot fi utilizate pentru a ajusta imaginea și impresia pe care o lasă piesa.

Odată ce a fost determinată o imagine aproximativă, designerii pot să o ducă la testarea funcțională, folosind matrițarea prin **injecție rapidă** pentru a produce câteva sute de piese. Întrucât aceste piese pot fi produse rapid în oricare din sutele de rășini, ele sunt ideale pentru a testa rezistența, durabilitate, rezistență chimică, toleranță la căldură a unei piese în utilizare reală sau simulată. Dacă este dorită o anumită rășină, pot fi refolosite aceleași matrițări prin injecție rapidă pentru a produce piesa dintr-un material diferit. Sau, dacă sunt depistate erori chiar în proiect, pot fi produse rapid noi matrițe. În unele cazuri, matrițările prin injecție rapide pot fi utilizate chiar pentru a produce funcționări mai lungi pentru testarea pe piață.

Dacă PP trece testul, matrițele din oțel, tradiționale, pot fi cerute pentru derularea producției finale. În unele cazuri, matrițele din aluminiu create pentru matrițarea prin injecție rapidă pot fi utilizate ca o unealtă punte pentru producția preliminară în timp ce sunt produse matrițele din oțel. Sau, dacă derularea producției finale nu este prea mare, sau dacă timpul pentru vânzare este critic, matrițele din aluminiu pot deveni de fapt, matrițe de producție.

În **alegerea metodelor** de a face PP, trebuie să se definească atât condițiile tehnice, cât și constrângerile afacerii.

Dacă forma și adecvarea constituie priorități, atunci unele opțiuni de prototipare rapidă sau fabricație rapidă vor funcționa, întocmai ca și matritarea prin injecție rapidă. Dacă sunt necesare piese pentru testarea funcțională, limitările materialelor pentru prototipare rapidă și fabricație rapidă, pot fi o problemă. Modelarea prin injecție, rapidă sau altfel, ajută mai mult rășinile care vor fi utilizate în producție.

Dacă sunt necesare mai puțin de **10 produse**, prototiparea rapidă va fi mai avantajoasă decât matritarea prin **injecție rapidă** sau **fabricația rapidă**. Pentru **10 până la 100 de produse**, o alegere mai bună poate fi matritarea prin **injecție rapidă** sau **fabricație rapidă**. Pentru piese, care trebuie realizate în mai puțin de trei zile, singura alegere poate fi prototiparea rapidă. Dacă se poate aștepta între trei zile și două săptămâni, cea mai bună soluție o constituie matritarea prin **injecție rapidă** sau **fabricația rapidă**.

În cazul în care sunt necesare mai mult de **10 000 de produse**, cel mai bun pariu îl reprezintă matritarea prin **injecție tradițională**. Având o gamă largă de opțiuni în trusa de scule, se poate da o linie aerodinamică procesului de proiectare. Metoda adecvată în etapă potrivită a dezvoltării economisește timp și bani, permițând mai multe (sau mai eficiente) emiteri.

Banii economisiți pot fi realocați, timpul economisit aduce produsele mai repede pe piață, iar PP mai bune înseamnă produse finale mai bune. Pe piața concurențială de azi, mai rapid, mai bun, mai ieftin este o combinație foarte greu de depășit.[CLE 05]

3.3 Concluzii

Industria scanării 3D, considerată de mulți încă departe de a fi ajuns la maturitate, se dublează în fiecare an. Tehnologiile de scanare 3D contribuie la optimizarea dezvoltării noilor produse prin accelerarea fazei de control al procesului. În industrie, achiziția de forme se adresează reverse engineering-ului sau reconcepției, care permite crearea unui model numeric al unui obiect în scopul realizării unei PP sau a unei scule de fabricare (exportul datelor achiziționate spre un soft CAD).

Nu se poate ignora importanța instrumentelor de achiziție care sunt senzorii cu contact, și senzorii fără contact: laser, optici, ultrasonici sau video.

Cele mai bune rezultate în termeni de precizie și calitate a suprafeței sunt obținute folosindu-se sisteme de inginerie inversă prin contact. Senzorii noncontact laser și cei vizuali s-au dezvoltat ca și alternativa pentru înlocuirea celor cu contact, unde contactul fizic nu este posibil în cazul suprafețelor fine sau finisate delicat, superfinisate sau cu asperități mari și cele cu muchii ascuțite.

Modelul obținut în urma scanării poate fi folosit apoi pentru obținerea PP. Mai multe tehnologii de obținere a PP au fost prezentate în acest capitol, alegerea tehnologiei optime făcându-se în funcție de tipicul aplicației.

4. CERCETĂRI PRIVIND ADAPTAREA UNEI PLATFORME OPERAȚIONALE PENTRU REALIZAREA TEHNICII DE REVERSE ENGINEERING

4.1 Echipamente hard și soft folosite pentru studiul tehnicilor de Reverse Engineering

Adaptarea unei platforme operaționale pentru studiul tehnicii de RE a avut în vedere criteriul versatilității maxime asociată cu criteriul costului minim. Se pot imagina și realiza tehnici de RE cu echipamente și softuri foarte performante, dar foarte costisitoare. Nevoia de extensie și accesibilitate a acestei tehnici și către operatori mai puțin favorizați (ingineri, tehnicieni și IMM-uri, studenți sau chiar artizani) impune tot mai mult alegerea unei platforme operaționale suficient de performantă, dar accesibilă ca preț. Acest lucru în prezent este asigurat de mașinile de măsurare tridimensional cu acționare manuală, de scanare prin contact și de prototipare prin prelevare de material (mașini de frezat 3D). Aceșora li se asociază o echipare în hard și soft uzuală. Alcătuirea unei platforme operaționale în sensul descris mai sus are în vedere evident și posibilitatea unei intervenții punctuale pentru mărirea performanțelor de exploatare în sensul perfecționărilor tehnice ale echipamentului sau a îmbunătățirii softurilor utilizate.

Echipamentele folosite în cadrul acestei lucrări de doctorat și care definesc platforma operațională sunt prezentate în figura de mai jos:

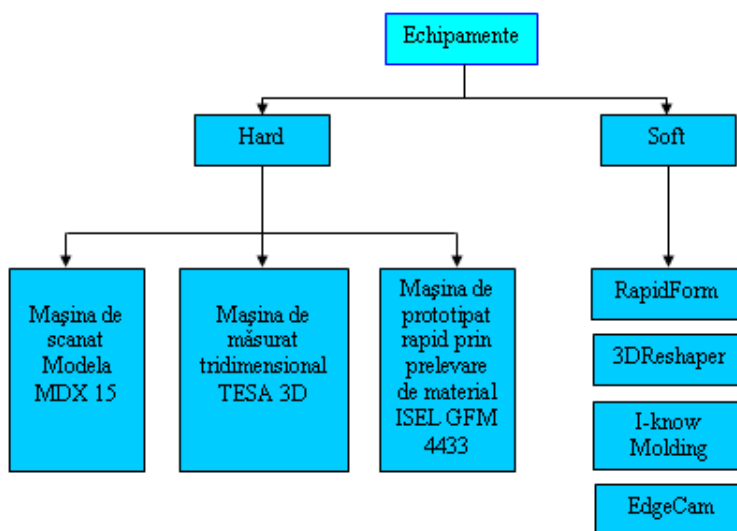


Figura 4.1 Echipamente folosite în cercetare

a). Mașina de scanat MODELA MDX 15

Aspectul plăcut al mașinii de scanat Modela MDX 15, la care se mai adaugă înălțimea mică și structura compactă o face deosebit de atractivă pentru așa numitele aplicații de "birou". Toate circuitele electronice sunt integrate. Ca și scanner, mașina este condusă de un calculator prin softul Dr. Picza. Acest soft permite setarea ariei ce se dorește a fi scanată și rezoluția (pasul) ce va fi folosită. Restul se face automat, incluzând chiar și conversia punctelor scanate într-un fișier CAD. Exportarea acestor puncte se poate face în formatele STL, DXF și VRML.

Mașina de scanat **Modela MDX 15** (fig.4.2) are următoarele **caracteristici**:

- Zona de lucru (X,Y,Z in mm): 150x100x60;
- Dimensiunile mesei de lucru (X,Y in mm): 170x110;
- Greutatea maximă aplicată pe masa de lucru: 0.5 Kg;
- Dimensiunile exterioare (X,Y,Z in mm): 426x280x305;
- Greutate: 9.6 Kg;
- Senzor: piezo-electric;
- Rezoluția: 0.05 la 5.00 mm pentru X și Y și 0.025 mm pentru Z;
- Export fișier: STL, DXF, VRML;
- Tipul motorului: pas cu pas.



Figura 4.2 Mașina de scanat Modela MDX 15

Masa de lucru a mașinii poate fi ușor dată jos, pentru a putea fi montat modelul ce urmează a fi scanat prin folosirea unui adeziv sau plastilină. Capul de scanat este conectat la mașină printr-un simplu cablu. Deplasarea după cele 3 axe se face cu ajutorul unui motor pas cu pas. Capul de frezat este prevăzut cu un motor (10 W, 6500 rpm) ce poate fi folosit numai pentru prelucrarea spumelor și a materialelor mai ușoare.[MOD 07]

b). Mașina de măsurat în coordonate TESA 3D

Mașina de măsurat tridimensional TESA 3D MICRO – MS 343 (fig.4.3) are următoarele caracteristici :

- ghidaje din aluminiu;
- lagăre pe perna de aer;
- masă din granit;
- sistemul de acționare tip bara Uhing;
- sistemul de măsurare cu rigle din sticlă;
- sistemul de palpate : palpator cu declanșare cu senzor TP2 și bilă din rubin;
- măsurare manuală;
- volumul de măsurare : 300 / 400 / 300;



Figura 4.3 Mașina de măsurat TESA 3D

c). Mașina de prototipat rapid ISEL GFM 4433

Unitățile de baza Isel-CNC ale seriilor GFM 4433 sunt mașini CNC de tip cadru - C realizate din profile ușoare. Axele lineare sunt dirijate de motoare pas cu pas puternice (seriile GFS) și servo-motoare (seriile GFV) în module de conducere ușor de întreținut. Masa mașinii este fixată prin șuruburi și are profile în T, frezate la precizia planului. Oferă posibilități optime de prindere pentru mecanisme și dispozitive de prindere diverse. Incinta mașinii (pereții) este din sticlă Perspex fiind prevăzută cu o ușă ce pivotează, ușă realizată din profile de aluminiu. Unitățile de baza Isel- CNC din seriile GFS 4433 (figura 4.4) sunt ideale pentru aplicațiile de asamblare individuale în diferite câmpuri: poziționare, frezare/perforare, gravare, înșurubare, măsurare, etc. [ISE 07]

Aplicarea frezării CNC ca și tehnologie RP este încă nouă, și a fost posibilă datorită unui număr mare de noi descoperiri. Unele dintre acestea nu sunt încă cunoscute, așa că vom descrie doar câteva aspecte care au făcut ca fabricarea CNC să devină o tehnologie competitivă pentru RP. Bazele fabricării sunt foarte simple: prelevare de așchii mici. Tradițional scula așchietoare era deplasată prin control manual (acționând o roată), după cel de-al II-lea război mondial noile dezvoltări în controlul numeric, iar acum de câțiva ani CNC au dus la consacrarea acestor

tehnologii. Frezarea cu CNC a fost folosită pentru realizarea prototipurilor încă de mult: mașini grele și scumpe, puternice, chiar dacă foarte complicate, soft CAM și operatori CAM bine instruiți. **În mod clar nu era un proces automat, deci nu poate fi numit RP.**

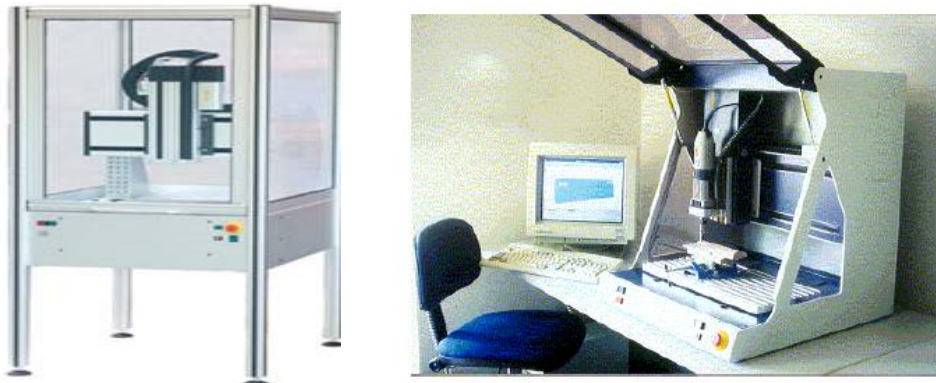


Figura 4.4 Exemple de mașini de frezare CNC ieftine ce se pretează aplicațiilor de RP

De la o vreme lucrurile au început să se schimbe: atât pe direcția hardware cât și pe direcția software. **Pe parte de hardware** au apărut noi descoperiri concretizate în mașini de frezat cu CNC de dimensiuni mici, ușoare și foarte ieftine (fig. 4.4). În zilele noastre prețurile pentru o mașină de frezat cu CNC pomesc chiar de la 1000 USD.

Astfel de mașini (în mod clar cu capabilități limitate) se pot regăsi la oricare designer. Mulți fabricanți oferă acum o mare varietate de mașini CNC ușoare, incluzând adaptarea pentru aproape orice aplicație. Marile mașini industriale pot fi desigur folosite pentru RP, oferind avantaje ca dimensiuni mari, viteză, stabilitate, putere. Se pot găsi mașini cu prețuri cuprinse între 1000-1000000 USD – pentru fiecare aplicație adaptarea poate fi făcută. Cea de-a doua importantă dezvoltare în partea hard a mașinilor de frezat este frezarea High Speed (HS). Aici avantajul constă nu în preț, ci în viteză. Folosind o mare viteză de rotație începând de la cca. 40000 și până la 80000 rot/min, scula așchietoare se poate deplasa mult mai repede decât mașinile tradiționale (care se rotesc cu valori cuprinse între 1000-10000 rot/min). Avantajele constau în forțe de așchiere mici, răcirea nu este necesară deoarece așchiile preiau căldura și vibrațiile pot fi minimizate.

Pentru frezarea HS, atât mașina cât și controlerul trebuie să fie construite special, făcând posibilă menținerea la viteze ridicate în timp ce procesează un număr mare de comenzi de deplasare (capabilitatea de "a privi înainte" este nevoie).

Pe parte de software noile dezvoltări au rezultat prin noi tipuri de softuri CAM, specifice aplicațiilor de RP. Aceasta în contradicție cu softurile CAM "tradiționale" care urmăresc realizarea de matrice. Aceste tipuri de softuri tradiționale necesită instruirea unui specialist în CAM, care să poată interpreta corect și să seteze numeroșii parametrii. El trebuie de asemenea să fie în stare să verifice traiectoria sculei, precum și erorile posibile care pot fi prevenite prin schimbarea parametrilor. Noile softuri se adresează designerilor de produse, care nu cunosc prea multe despre fabricație (CNC) și care nu vor să aibă "bătăi de cap" cu fiecare problema ce ține de aceste softuri. Softul CAM pentru prototiparea rapidă trebuie să

lucreze ca și o "cutie neagră", făcând procesul de creație prin prototipare automat cât de mult este posibil.

Alte importante caracteristici ale softurilor CAM pentru prototipare rapidă sunt:

- posibilitatea de importare a fișierelor STL: fișiere standard pentru prototipare rapidă oferind o mai bună stabilitate geometrică la transfer decât fișierele IGES;

- viteză ridicată la calcularea traiectoriei sculei: prototiparea rapidă trebuie să fie rapidă;

- prețul redus: în special de importanță mare pentru modelare.

În mod cert, ușurința în folosire și costul scăzut al softului CAM pentru prototipare rapidă are numeroase limitări când sunt comparate cu marile softuri CAM pentru producerea matritelor. Diferențele ce apar între capacitățile softurilor CAM pot fi regăsite urmărind indicațiile de mai jos:

- Strategia de prelucrare;

- Posibilitatea prelucrării în 2.5D, ceea ce creează modelul combinând un număr de contururi 2D, fiecare la un nivel Z constant. Acest mod de prelucrare este foarte bun pentru aplicațiile mecanice;

- Numărul axelor suportate. Mașinile CNC obișnuite folosesc 3 axe: X, Y și Z. Mașinile mai complexe pot fi echipate cu o a 4 axa (tip "rotisor" sau masa rotativa), sau cu 5 axe unde scula poate fi rotită din diferite direcții;

- Posibilitatea de optimizare a traiectoriei sculei pentru mașinile de frezat la viteze ridicate, prin îndepărtarea tuturor unghiurilor;

Combinând aceste noi dezvoltări cu mașinile ușoare de frezat și pachete de soft CAM ușor de folosit, procesul de RP va oferi un număr de caracteristici speciale.[LEN 07]

E de mirare de ce atât de mulți ingineri designeri ignoră mașinile CNC pentru realizarea prototipurilor. Cu atâtea impresionante tehnologii de prototipare rapidă prin depunere disponibile, inginerii proiectanți pot da formă oricărui model geometric. Ei nu mai au motive să-și bata capul cu mașini CNC de dimensiuni mari și scumpe și care folosesc codul G. Oricum, **datorită noilor tehnologii de prototipare rapidă prin îndepărtare de material, frezarea este încă odată apreciată ca și soluție de prototipare rapidă.** Conform „Terry Wohler's 2002 Report on Rapid Prototyping & Tooling State of the Industry”, inginerii și proiectanții au cumpărat mai multe sisteme de prototipare rapidă prin îndepărtare de material în ultimul an decât primele două sisteme de prototipare rapidă prin depunere din top. Bineînțeles, nu vorbim despre mașinile CNC prin frezare tradiționale.

Aceste SRP (substractiv rapid prototyping) prin frezare sunt mici, ieftine și ușor de folosit și în plus ele au capacitatea de a realiza prototipuri din aproape orice material cu viteze și precizii mai bune decât orice sistem de prototipare rapidă prin depunere de material.

"Sistemele SRP au devenit atât de sofisticate, inginerii trebuie acum să înțeleagă când este cel mai bun moment să folosească tehnologia de prototipare rapidă," spune Boris Fritz, președintele Asociației de RP SME. "SRP, de exemplu, este potrivită pentru testare deoarece poți freza piesa până la final." Chiar dacă tehnologii au probleme în frezarea prototipurilor cu geometrii complexe, sistemele SRP sunt extreme de bune în ceea ce privește preciziile de realizare a prototipurilor. Folosind o mare varietate de materiale ieftine, incluzând poliuretan, rășina, ABS, aluminiu și alama, sistemele SRP produc prototipuri care salvează timp și bani. Odată prototipul terminat, acesta nu necesită prelucrări manuale anterioare.

Costul inițial scăzut al echipamentului dă posibilitatea proiectanților să creeze prototipuri în așa numitul sistem "in-house". Inginerii pot produce în câteva ore prototipuri care, în mod normal ar lua zile până la obținerea lor. În acest fel, tehnologia SRP ajută la păstrarea secretelor proprietarilor și oferă un mai mare control procesului de proiectare. În plus, tehnologii au optimizat sistemele SRP special pentru RP.[CUR 07]

d). Softuri

RapidForm:

Rapidform XOR/Redesign oferă cea mai inteligentă tehnologie prin care datele 3D obținute în urma scanării sunt transformate în modele parametrice, de calitate ridicată, în scopul folosirii lor la diferite aplicații de reverse engineering. Este singurul soft care preia datele scanate și realizează modele "etanșe" din poligoane mesh sau creează modele solide CAD direct din datele scanate. [RAP 07]

3DReshaper:

3DReshaper este un soft de procesare a "norilor de puncte" obținuți în urma scanării pentru utilizatorii care doresc o calitate ridicată a fișierelor 3D mesh la un preț rezonabil. Modelele obținute pot fi folosite direct pentru RP, generarea traiectoriilor sculelor, simulări, analiza cu element finit, măsurări.[3DR 07]

I-know Molding:

I-know Molding oferă realizarea instantanee a părților active ale matriței pentru fiecare stadiu al dezvoltării produsului. Avantajele acestui soft sunt:

- importa modele STL (spre deosebire de softurile convenționale care lucrează numai cu solide);
- identifică posibilele probleme legate de fabricația cavității;
- particularizează geometria cavității;
- exportă rezultatele în format 2D sau 3D. [KNO 07]

EdgeCam:

EdgeCam oferă o soluție completă pentru fabricația matrițelor prin generarea unei traiectorii ale sculei de o înaltă calitate, venind în întâmpinarea cerințelor fabricanților de piese complexe.[EDG 07]

4.2 Cercetări privind ameliorarea facilităților tehnice ale echipamentelor

4.2.1 Determinarea repetabilității și reproductibilității mașinii de măsurat tridimensional

4.2.1.1 Planificarea experimentului

Experimentul constă în determinarea repetabilității și reproductibilității mașinii de măsurat tridimensionale TESA 3D MICRO-MS 343. Pentru acest experiment s-a folosit un lot de 20 de piese (fig.4.6) și trei operatori, aceștia măsurând succesiv lotul de piese în două serii. Etapele parcurse în cazul măsurării unui lot de 20 de piese (fig.4.5) în vederea determinării **repetabilității** și **reproductibilității** mașinii de măsurat tridimensional sunt următoarele :

- se pornește compresorul;
- se pornește unitatea de calcul;
- întotdeauna se șterg ghidajele cu alcool prin deplasarea mașinii pe cele 3 axe;
- se instalează palpatorul în pinola mașinii;

- se calibrează mașina cu ajutorul unei sfere de calibrare (\varnothing 25.0002) (fig.4.5);
- se măsoară aceeași sferă pentru verificare;
- se stabilește planul de lucru prin palparea mesei de lucru (minim 9 puncte);
- se fixează piesa pe masa mașinii cu ajutorul unui șurub \varnothing 10;
- se trece la măsurarea pieselor (diametrul exterior al acestora);
- au fost folosiți 3 subiecți care au măsurat fiecare lotul de piese de câte 2 ori;

Datele obținute au fost prelucrate cu programul STATISTICA și o aplicație realizată în Microsoft Excel.



Figura 4.5 Lotul de piese

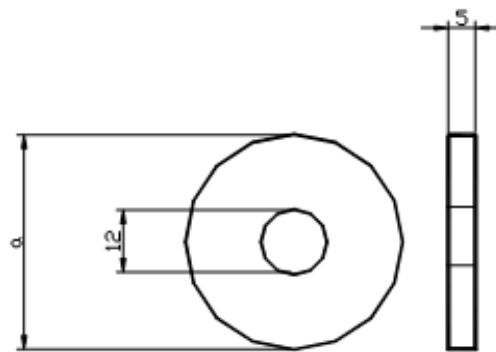


Figura 4.6 Desenul de execuție al piesei

4.2.1.2 Rezultate experimentale

Tabelul 4.1 Datele măsurătorilor

OPER	PART	TRIALS	MEASURE	17	1	17	1	40.3765
1	1	1	40.4295	18	1	18	1	40.4152
2	1	2	40.6836	19	1	19	1	40.5361
3	1	3	40.6555	20	1	20	1	40.5342
4	1	4	40.2813	21	1	1	2	40.4339
5	1	5	40.1798	22	1	2	2	40.7071
6	1	6	40.3481	23	1	3	2	40.6619
7	1	7	40.2633	24	1	4	2	40.3025
8	1	8	40.3423	25	1	5	2	40.1830
9	1	9	40.7045	26	1	6	2	40.3490
10	1	10	40.2699	27	1	7	2	40.2516
11	1	11	40.4279	28	1	8	2	40.3349
12	1	12	40.4151	29	1	9	2	40.7046
13	1	13	40.2903	30	1	10	2	40.2663
14	1	14	40.5674	31	1	11	2	40.4274
15	1	15	40.3891	32	1	12	2	40.4621
16	1	16	40.2930	33	1	13	2	40.3016

34	1	14	2	40.5683	78	2	18	2	40.4344
35	1	15	2	40.3860	79	2	19	2	40.5639
36	1	16	2	40.2900	80	2	20	2	40.5334
37	1	17	2	40.3683	81	3	1	1	40.4341
38	1	18	2	40.4032	82	3	2	1	40.7022
39	1	19	2	40.5351	83	3	3	1	40.6540
40	1	20	2	40.5339	84	3	4	1	40.2973
41	2	1	1	40.4390	85	3	5	1	40.1750
42	2	2	1	40.7149	86	3	6	1	40.3520
43	2	3	1	40.6522	87	3	7	1	40.2697
44	2	4	1	40.3259	88	3	8	1	40.3406
45	2	5	1	40.1831	89	3	9	1	40.7083
46	2	6	1	40.3554	90	3	10	1	40.2620
47	2	7	1	40.2819	91	3	11	1	40.3948
48	2	8	1	40.3386	92	3	12	1	40.4507
49	2	9	1	40.7122	93	3	13	1	40.2701
50	2	10	1	40.2681	94	3	14	1	40.5734
51	2	11	1	40.4198	95	3	15	1	40.3822
52	2	12	1	40.4964	96	3	16	1	40.2719
53	2	13	1	40.3019	97	3	17	1	40.3361
54	2	14	1	40.5732	98	3	18	1	40.4262
55	2	15	1	40.3795	99	3	19	1	40.5491
56	2	16	1	40.3062	100	3	20	1	40.5050
57	2	17	1	40.3614	101	3	1	2	40.4451
58	2	18	1	40.4408	102	3	2	2	40.7162
59	2	19	1	40.5553	103	3	3	2	40.6689
60	2	20	1	40.5433	104	3	4	2	40.2955
61	2	1	2	40.4484	105	3	5	2	40.1802
62	2	2	2	40.7257	106	3	6	2	40.3378
63	2	3	2	40.6671	107	3	7	2	40.2687
64	2	4	2	40.3016	108	3	8	2	40.3277
65	2	5	2	40.1848	109	3	9	2	40.7046
66	2	6	2	40.3526	110	3	10	2	40.2610
67	2	7	2	40.2727	111	3	11	2	40.4111
68	2	8	2	40.3505	112	3	12	2	40.4158
69	2	9	2	40.7166	113	3	13	2	40.2715
70	2	10	2	40.2867	114	3	14	2	40.5371
71	2	11	2	40.4313	115	3	15	2	40.3374
72	2	12	2	40.4579	116	3	16	2	40.2652
73	2	13	2	40.3030	117	3	17	2	40.3251
74	2	14	2	40.5815	118	3	18	2	40.4061
75	2	15	2	40.3796	119	3	19	2	40.5452
76	2	16	2	40.3128	120	3	20	2	40.5328
77	2	17	2	40.3724					

Tabelul 4.2 Descrierea statistică dată de operatori

Descriptive Statistics by Operators (referat3.sta)
Variable: MEASURE Mean=40.4234 Std.Dv.=.150136
Operators: 3 Parts: 20 Trials: 2

	Mean	Deviatn	Minimum	Maximum	Std.Dv.
1	40.42183	-.001566	40.17980	40.70710	.149071
2	40.43315	.009756	40.18310	40.72570	.150624
3	40.41519	-.008200	40.17500	40.71620	.153946

Tabelul 4.3 Descrierea statistică dată de piese

Descriptive Statistics by Parts (referat3.sta)
Variable: MEASURE Mean=40.4234 Std.Dv.=.150136
Operators: 3 Parts: 20 Trials: 2

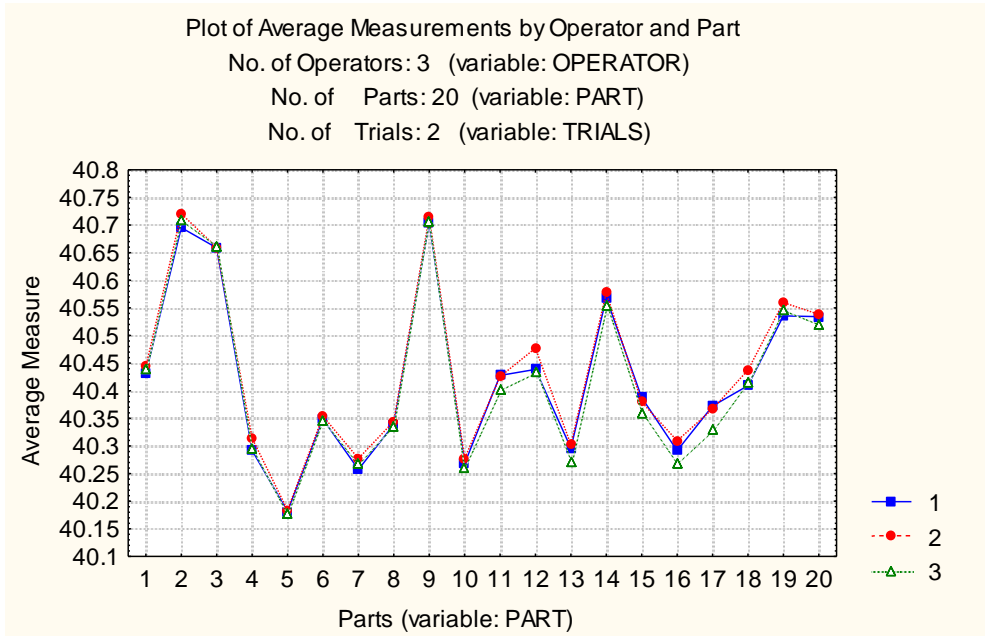
	Mean	Deviatn	Minimum	Maximum	Std.Dv.
1	40.43834	.014944	40.42950	40.44840	.007253
2	40.70828	.284891	40.68360	40.72570	.014543
3	40.65993	.236540	40.65220	40.66890	.007076
4	40.30068	-.122710	40.28130	40.32590	.014520
5	40.18098	-.242407	40.17500	40.18480	.003492
6	40.34915	-.074240	40.33780	40.35540	.006150
7	40.26798	-.155409	40.25160	40.28190	.010098
8	40.33910	-.084292	40.32770	40.35050	.007619
9	40.70847	.285074	40.70450	40.71660	.005014
10	40.26900	-.154391	40.26100	40.28670	.009329
11	40.41872	-.004675	40.39480	40.43130	.013781
12	40.44967	.026273	40.41510	40.49640	.030820
13	40.28973	-.133658	40.27010	40.30300	.015383
14	40.56682	.143427	40.53710	40.58150	.015397
15	40.37563	-.047758	40.33740	40.38910	.019103
16	40.28985	-.133540	40.26520	40.31280	.018622
17	40.35663	-.066759	40.32510	40.37650	.021060
18	40.42098	-.002409	40.40320	40.44080	.015305
19	40.54745	.124059	40.53510	40.56390	.011148
20	40.53043	.107042	40.50500	40.54330	.013061

Tabelul 4.4 Analiza dispersiei

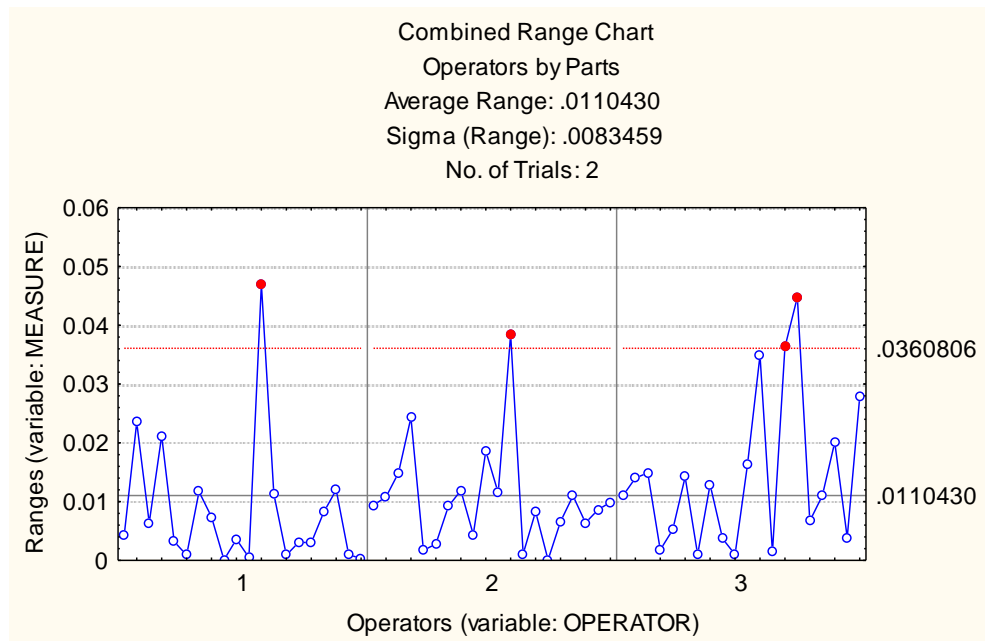
Analysis of Variance (referat3.sta)
Variable: MEASURE

	Sums of Square	Percent of Total	df	Mean Square
Operators (variable: OPERATOR)	.006595	.2459	2	.003297
Parts (variable: PART)	2.661606	99.2268	19	.140085
Trials (variable: TRIALS)	.000000	.0000	1	.000000
Operators by Parts	.006824	.2544	38	.000180
Operators by Trials	.000392	.0146	2	.000196
Parts by Trials	.002003	.0747	19	.000105

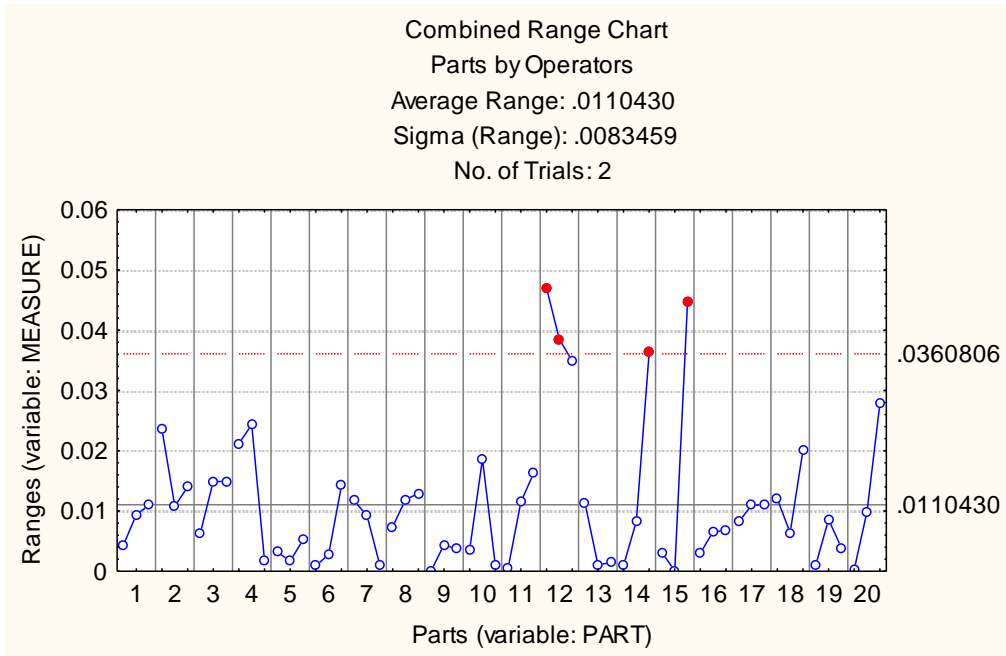
Operators by Parts by Trials	.004926	.1837	38	.000130
Total	2.682345	100.0000	119	.022541



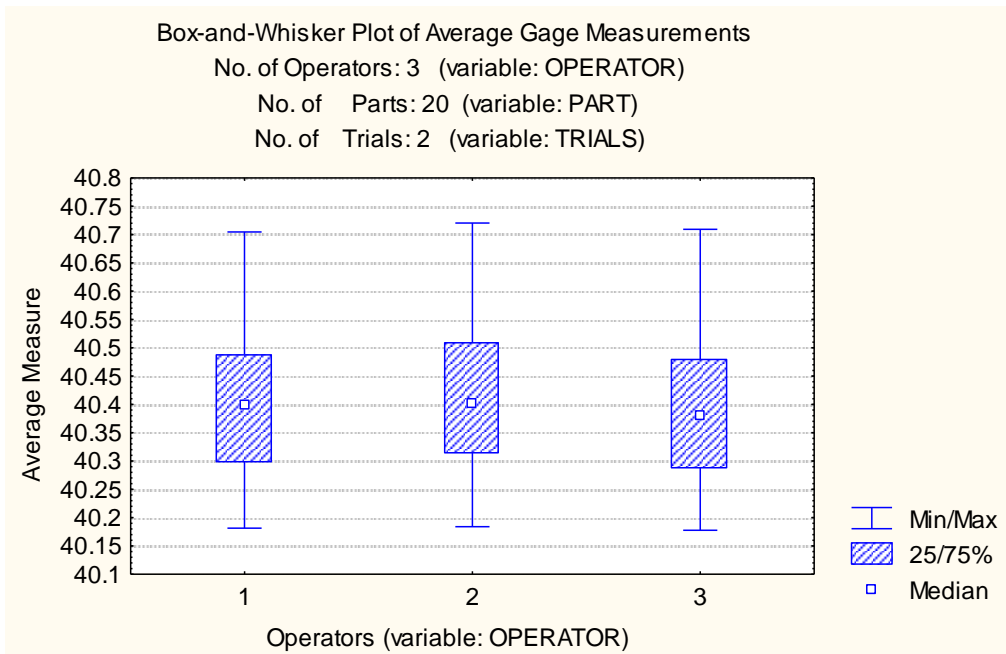
Graficul 4.1 Media măsurătorilor funcție de operatori și piese



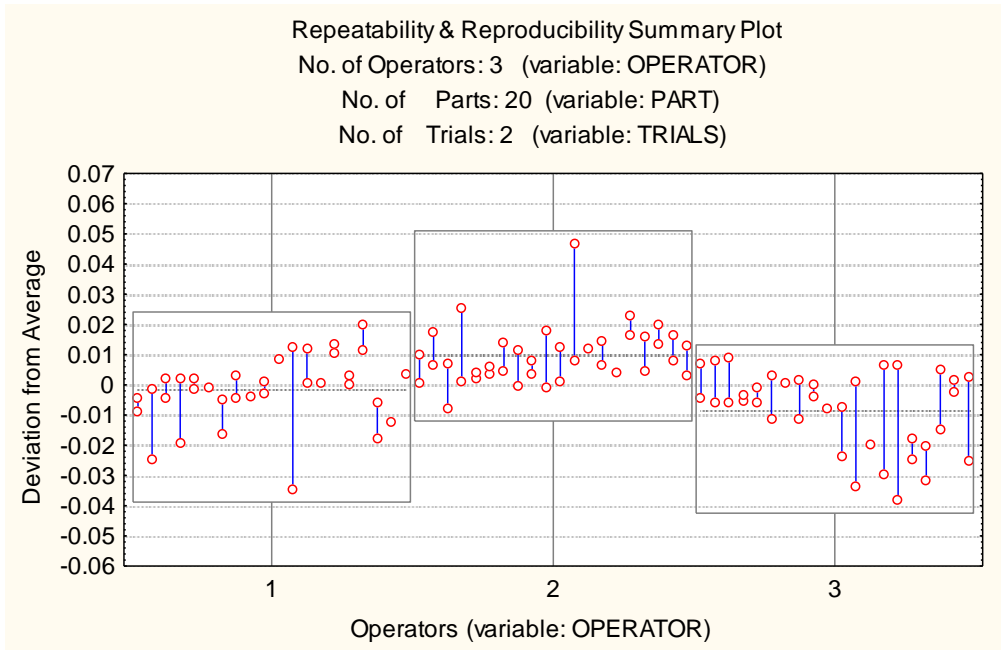
Graficul 4.2 Amplitudinea măsurătorilor funcție de operator



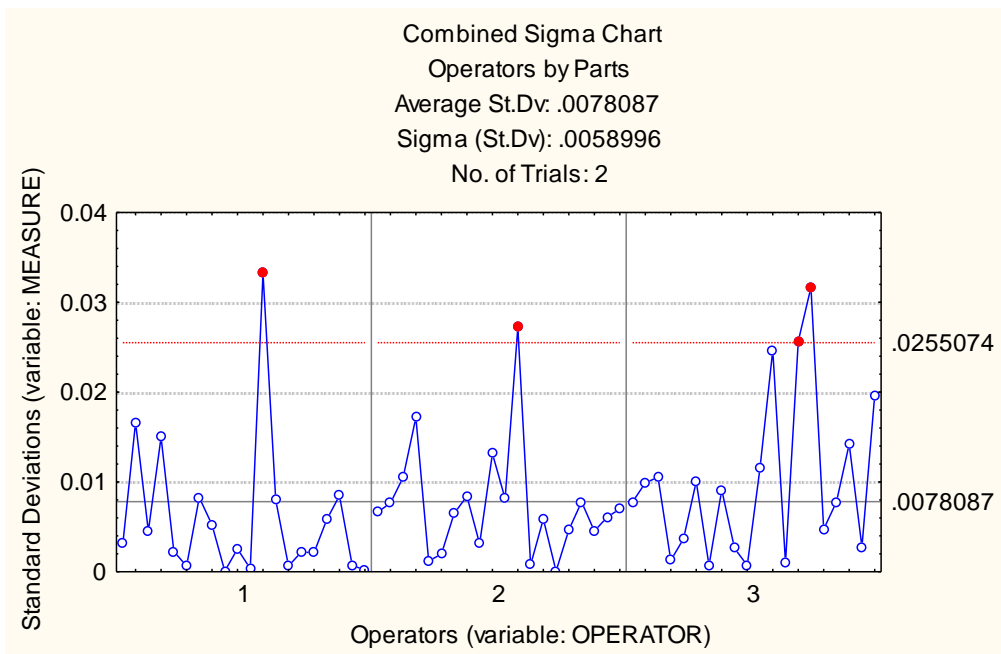
Graficul 4.3 Amplitudinea măsurătorilor funcție de piese



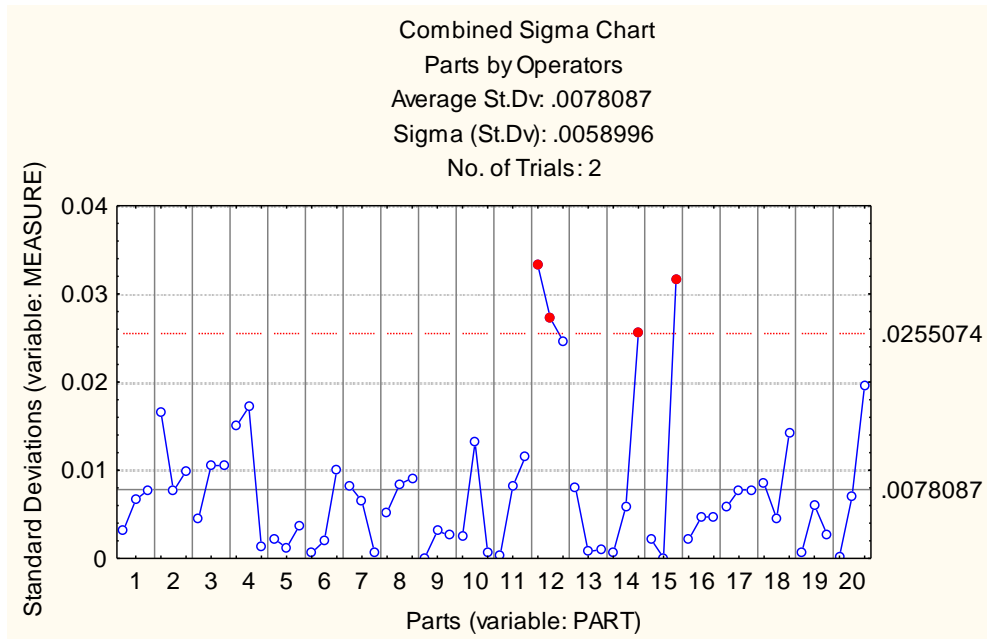
Graficul 4.4 Media măsurătorilor funcție de operatori



Graficul 4.5 Abaterea medie funcție de operatori și piese



Graficul 4.6 Abaterea standard funcție de operatori



Graficul 4.7 Abaterea standard funcție de piese

4.2.1.3 Interpretare rezultate

În tabelul 4.4 rubrica care ne interesează este cea legată de procentul total. Se observă că nu operatorii dau cea mai mare dispersie, ci piesele de măsurat (99.2268).

În graficul 4.1 probleme deosebite apar în cazul piesei 12 pentru operatorul 2 și piesele 15, 16, 17 pentru operatorul 3.

Graficul 4.2 ne confirmă cele de mai sus, piesa 12 creând probleme pentru primii doi operatori, iar piesele 14, 15 pentru operatorul trei. Chiar și pentru operatorul trei piesa 12 este la limită.

Acesta este în funcție de operatori. Concluzia este ca piesa 12 prezintă probleme, ar putea fi vorba de o ovalizare a ei, pe când măsurătorile eronate ale pieselor 14 și 15 sunt date de stângăcia operatorului.

Același lucru este confirmat și în graficul 4.3, piesa 12 ridică probleme pentru primii doi operatori, piesele 14, 15 la fel pentru operatorul trei.

În graficul 4.4 se observă ca media măsurărilor funcție de cei trei operatori este apropiată.

În graficul 4.5 operatorul 2 a introdus mai multă dispersie datorită stângăciei lui în măsurare. Ca măsură de rezolvare a problemei, refacerea unui instructaj pentru îmbunătățirea modului de efectuare a măsurărilor este necesar.

La primii 2 operatori piesa 12 ridică probleme de măsurare (ovalitate), la al 3-lea mai sunt probleme la 14,15. Rezultatul este o problema de măsurare personală. Diferențele sunt mici, de ordinul unei sutimi.

Operatorul bine instruit influențează mai puțin măsurările făcute cu MMT.

În graficul 4.6 rezultatele sunt identice cu cele exprimate în graficul 4.2, iar cele din graficul 4.7 sunt echivalente cu cele din graficul 4.3.

În aplicația din anexa 1 se observă ca dispersia echipamentului de măsură este de 1.60098%, iar dispersia operatorilor este de 2.29109%. Cel mai mare procent din dispersia totală îl are dispersia pieselor 99.9609%.

În urma analizei a rezultat că numărul de categorii distincte în care piesele pot fi cuprinse în funcție de dispersie este de aproximativ 50.

4.2.2 Realizarea post-procesorului pentru mașina de prototipat rapid ISEL

4.2.2.1 Introducere

Noile produse trebuie să fie dezvoltate mai rapid și mai ieftin și introduse pe piață. Realizarea de matrițe, atât din punct de vedere al concepției, cât și al prelucrării, reprezintă una dintre cele mai lungi și mai costisitoare faze în dezvoltarea procesului de producție. Astfel spus, realizarea matrițelor prin metode convenționale de prelucrare este caracterizată prin timp lung de lucru și costuri ridicate.

Mașina de prototipare rapidă ISEL GFM 4433 a fost achiziționată de la firma ISEL. În momentul achiziționării aceasta a venit însoțită de un soft de proiectare ce rula sub sistemul de operare DOS, permițând doar proiectarea și importarea de desene 2D. De asemenea softul CAM prezenta o interfață neprietenosă, fiind sărac în meniu. Fabricarea era astfel, una de conturare. Știind că mașina are capacitatea de a lucra în 2.5D s-a dorit să se poată realiza importarea de modele geometrice 3D. Acest lucru nu a fost posibil, pe display apărând de fiecare dată un mesaj care ne avertiza că această operație nu este posibilă. În urma cercetărilor de pe internet am aflat că este nevoie de un așa numit postprocesor specific mașinii. Cu aceeași problemă se confruntă numeroși alți utilizatori, lucru remarcat pe diferitele forumuri. Un exemplu foarte bun este cel al lui Alain Breuil, președintele unei companii din Clamart, France. Breuil a început să producă componente ale centrelor de prelucrare CNC începând cu anii 1970. La început, acesta scria programele pe hârtie folosind codul G. Folosind această metodă generarea unui program necesita 1-2 zile. Programarea manuală, de asemenea nu permitea verificarea vizuală a traiectoriei sculei, ceea ce făcea ca greșelile apărute să nu poată fi corectate. De asemenea, timpul necesar pentru scrierea programului creștea pe măsură ce complexitatea piesei era tot mai mare.

În timp, Breuil și-a spus "Am căutat să găsesc un sistem de programare care să-mi permită realizarea programelor pe un calculator personal astfel încât apoi să putem transfera acest program pe un centru de prelucrare. Marea provocare în selectarea softului a constat în faptul că aveam o mare plajă de mașini CNC, de la modele foarte vechi până la modele noi. Problema era că majoritatea softurilor pe care le-am încercat nu erau capabile să asigure post-procesorul care să genereze codul G pentru vechile mașini și nici nu aveau abilitatea de a-mi permite crearea ușoară a post-procesorului." [FIR 02]

Acesta e cazul unei companii care are puterea financiară de a produce post-procesoare pentru diferite mașini. Ce se întâmplă cu cei care dispun de partea hard (mașina CNC), dar nu au post-procesorul pentru mașina respectivă. O soluție ar fi să apeleze la firmele de specialitate (genul celor prezentate mai sus) sau să încerce să-l realizeze ei înșiși. În cazul primei soluții situația e mai delicată prețul unui post-

procesor depășind valoarea de 1000 EURO la care se mai adaugă și prețul softului CAM.

Așadar s-a impus pentru cercetările noastre realizarea post-procesorului.

4.2.2.2 Considerații despre limbajul ISO și APT

Odată ce un model este generat pornind de la un obiect fizic, este necesară comunicarea cu un alt sistem pentru procesarea acestuia (analiză, prelucrare, etc.). Așadar, este necesar stabilirea unui protocol pentru realizarea acestui scop. În cazul transferului/schimbului modelului geometric între două sisteme diferite, este esențial ca formatul acestuia să fie neutru, adică să nu depindă de sistemul din care a fost trimis, și nici de cel în care este trimis. Ori și cum, un format neutru este precis definit, fiind cea mai bună alegere. [KUM 97]

Fișierul IGES (International Graphics Exchange Service) este în general folosit de aproape toate programele CAD. Acest format este cel mai consistent și universal acceptat. IGES este cel mai bun pentru transferul informațiilor despre suprafețele 3D datorită varietății mari de suprafețe ce pot fi descrise. Pot fi folosite mai multe metode. Cea mai simplă metodă constă în calcularea geometriei cu ajutorul unui calculator și scrierea directă a programului folosind codurile G, M și altele. Programul este apoi tastat direct în controler (de regula numit MDI, pentru Manual Data Input), sau tastat într-un calculator și transferat la controler prin tastare sau alte modalități. Unele controlere pot fi programate folosind o metoda „de conversație” oferită de controlerul cumpărat.

Limbajele specializate gen APT și COMPACT II sunt disponibile începând cu anii 60 și continuă să fie folosite. Acestea creează un controler neutru al traiectoriei sculei, numit în mod general fișier CL (Cutter Location sau Center Line), care este apoi convertit în program CNC acceptat de mașinile CNC. Un post-procesor este folosit în general separat pentru fiecare mașina CNC sau pentru o categorie de mașini CNC. [TEC 07]

Fișierul CL este un program CNC în format neutru creat de un sistem CAD/CAM, APT, sau orice alt tip de sistem de programare NC. Este considerat neutru deoarece nu este realizat pentru o mașina-unealta anume. Nu există un singur fișier format standard CL, și nu există un singur standard pentru conținutul unui fișier CL.

Un fișier tradițional APT CL nu este ușor de citit de către om fără o translație a fișierului în numere și adrese. Datele, ele însele sunt similare, dar un fișier APT CL conține mai multă informație, în special legat de cercuri. Dacă fișierul este folosit pentru o mașină-unealtă care nu suportă interpolare circulară (adică fără comenzile G2 sau G3), atunci postprocesorul trebuie să genereze o linie scurtă a mișcărilor care să realizeze arcele. Cu un fișier APT CL, acest lucru nu va mai fi necesar. Pentru fiecare arc fișierul APT CL va conține coordonatele centrului și vectorul axei sculei (unghi), rază. [CNC 07]

Limbajul APT este capabil să calculeze geometrii complexe și să ofere caracteristici „moderne” cum ar fi asociativitatea traiectoriei sculei încă de la începerea prelucrării. Din punct de vedere grafic sistemele CAD/CAM și programarea CNC au devenit posibile începând cu anii 70. Ca și limbajul APT, ele creau în mod uzual un fișier neutru numit fișier CL chiar dacă formatul fișierului CL este de departe diferit de tradiționalele formate de fișiere APT CL.

4.2.2.3 Ce este un post-procesor?

Programele CAM păstrează informațiile despre traiectoria sculei într-un fișier separat, ca și un set de instrucțiuni executabile. Formatul acestor comenzi poate fi unic, pentru un anumit program, sau poate fi standard. Cel mai cunoscut și folosit format standard este limbajul în cod mașina G. Codul G este un set standard universal de mișcări comandate folosit de mașinile unelte cu CNC. Acest set de comenzi este numit uneori APT, dar în fiecare caz există o modalitate standard de specificare a mișcărilor liniare sau circulare. Odată ce traiectoria sculei este scrisă în codul G, utilizatorul poate ieși din programul CAM și poate începe prelucrarea. Traiectoria sculei creată în pachetul de soft CAM este adesea translatată în codul G folosind un post-procesor. Softul de post procesare acceptă informațiile traiectoriei sculei și permite utilizatorului să particularizeze comenzile pentru un anumit tip de mașina CNC. Această post-procesare permite mașinii instrucțiuni specifice cum ar fi schimbarea sculei, cicluri închise sau cerințe speciale. [TEC 07]

Post-procesorul este un program care citește fișierele CL și produce programul CNC pentru o anumită mașină-unelte. Unele post-procesoare sunt particularizate pentru o anumită mașină-unelte, iar altele sunt generate de către softul de post-procesare. De asemenea sunt post-procesoare care suportă, de exemplu, 3 axe de prelucrare cu multe caracteristici particularizate. Un post-procesor trebuie să fie capabil să producă corect comanda pentru schimbarea automată a sculei, ciclurilor, originilor, interpolărilor și a altor caracteristici specifice mașinii-unelte. Instrucțiunile obținute prin intermediul post-procesorului trebuie să poată fi folosite fără alte modificări în viitor. [CNC 07]

4.2.2.4 Realizarea post-procesorului

S-a optat pentru softul EDGE CAM, care are atât modulul CAD cât și modulul CAM. Totodată acesta permite și simularea în mediu virtual al fabricării, lucru de o importanță foarte mare deoarece putem vedea orice eroare care poate să apară și pe care din neatenție o scăpăm din vedere, adică ne dă posibilitatea să ne verificăm și să ne corectăm înainte de a realiza frezarea piesei. Metodologia are aplicație și în cazul mașinilor-unelte tradiționale. [PAM 04]

În pregătirea post-procesorului plecăm de la tabelul prezentat mai jos unde prin comparație sunt prezentate comenzile și structura formatelor ISO și Isel. Pe baza acestui tabel putem scrie într-un anumit soft post-procesorul dorit.

Tabelul 4.5 Comenzile și structura formatelor ISO și Isel [TEC 07]

Descriere	ISO	Isel	Detalii
Număr linii	N0001	N000001	Fără cerințe
Specificații ale axelor	X Y Z	X Y Z	
Coordonate	X20.567 Y5.000 Z100.000	X20567 Y5000 Z100000	Modal
Comentarii	(comentariu aici)	;comentariu aici	Plasare comentariu după coloană.
Rapid Absolute	G00 G90	FASTABS	Nu modal
Feed Absolute	G01 G90	MOVEABS	Nu modal
Rapid Relative	G00 G91	FASTREL	Nu modal

Feed Relative	G01 G91	MOVEREL	Nu modal
Reference motion	G28 X0. Y0. Z0.	REF XYZ	In ordine XYZA
Set feed Rate	G01 X... Y... F200	VEL 3333	Avans în 0.001mm/sec
Set Rapid Rate	G00 F2000	VEL33333	Avans în 0.001mm/sec
Plane	G17, G18,G19	PLANE XY PLANE XZ PLANE YZ	Modal
Arc's	G90 G02 X.. Y.. I.. J..	CWABS I.. J.. X.. Y.. Z..	Centrele arcelor (valoare absolută).
Arc's	G90 G03 X.. Y.. I.. J..	CCWABS I.. J.. X.. Y.. Z..	Centrele arcelor (valoare absolută).
Arc's	G91 G02 X.. Y.. I.. J..	CWREL I..J.. X.. Y.. Z..	Centrele arcelor (valoare relativă).
Arc's	G91 G03 X.. Y.. I.. J..	CWWREL I.. J.. X.. Y.. Z..	Centrele arcelor (valoare relativă).
Dwell	G04 200	WAIT 200	200 milisecunde
Spindle on	M03	SPINDLE ON	Modal
Spindle off	M05	SPINDLE OFF	Modal
RPM	S1234	RPM 1234	Modal
Coolant on	M08	COOLANT ON	Modal
Coolant off	M09	COOLANT OFF	Modal
Tool Change	T0202 M06	GETTOOL 2	Modal
End Program	M30	PROGEND	

Se pomește de la definirea unei noi mașini (setup). Pentru aceasta folosim modulul Comms Setup (fig.4.7).

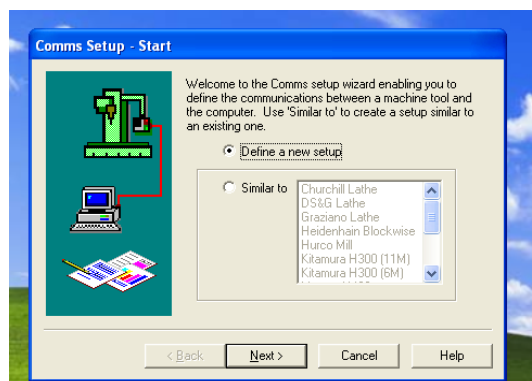


Figura 4.7 Definirea mașinii

În continuare se introduce denumirea mașinii (Isel GF 4433), tipul mașinii (frezare), tipul controlerului CNC (Generic). Pentru introducerea unor informații suplimentare se poate folosi opțiunea „Advanced” (fig. 4.8).

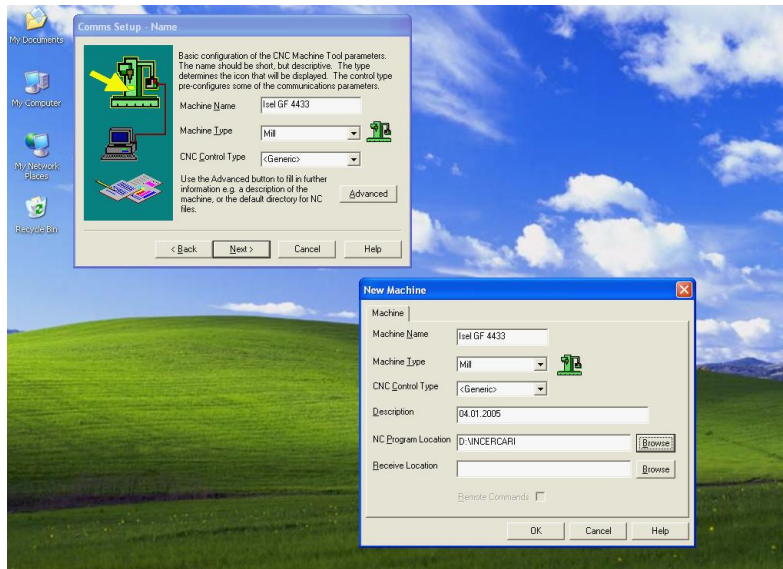


Figura 4.8 Alegerea controlerului mașinii

Următorul pas constă în alegerea modului de conectare a mașinii la computer. Pentru o setare mai pretențioasă se activează meniul „Advanced”. Se face inclusiv o autoscanare, aceasta având rolul de a detecta automat dacă mașina este conectată sau nu la computer (fig.4.9).

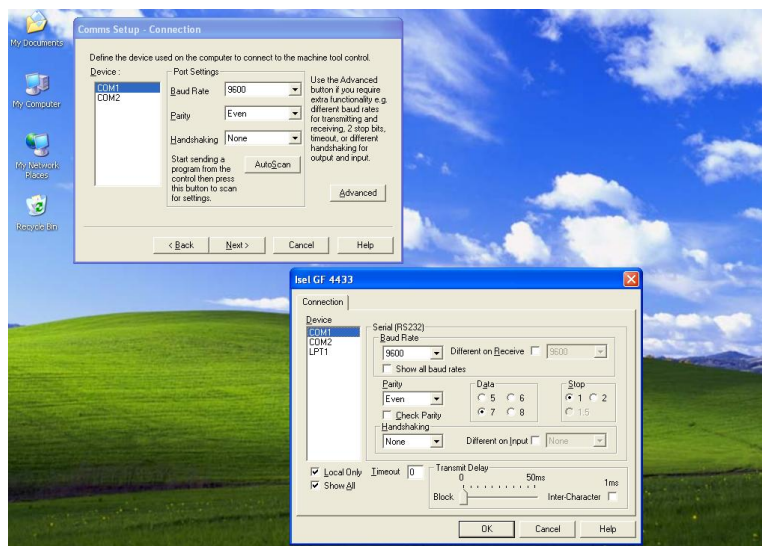


Figura 4.9 Conectarea mașinii la calculator

Se va alege apoi protocolul utilizat. Cele mai multe mașini-unelte CNC operează cu protocolul „standard”. În funcție de mașina-unelte folosită se alege protocolul corespunzător acesteia (fig.4.10).

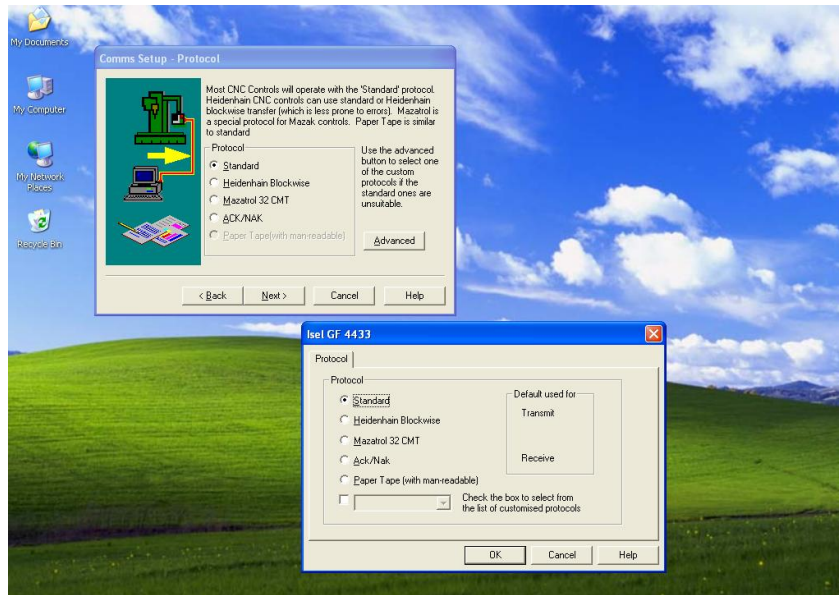


Figura 4.10 Selectarea protocolului

Odată definită mașina se va trece la scrierea post-procesorului. Din grupul EdgeCam se va folosi modulul Code Wizard. Se pornește acest program și se selectează opțiunea „Start a new document” (fig 4.11).

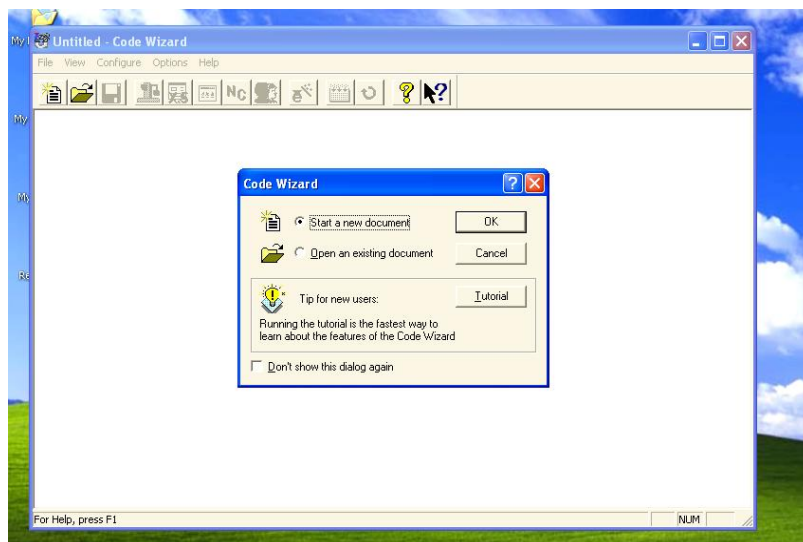


Figura 4.11 Inițierea post-procesorului

În funcție de tipul operației corespunzătoare mașinii-unelte se alege din librăria modului un post-procesor. Deoarece mașina Isel GF 4433 dispune și de o a 4-a axa, de rotație, voi alege un post procesor care să aibă această opțiune (fig.4.12).

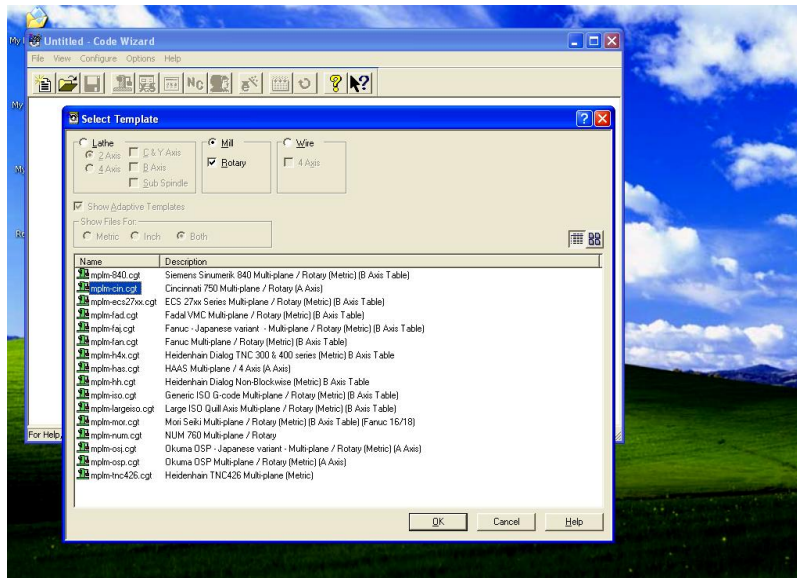


Figura 4.12 Selectarea unui post-procesor șablon

În continuare vor fi parcurse 5 meniuri, fiecare având mai multe submeniuri. Primul se referă la alegerea parametrilor mașinii (fig.4.13).

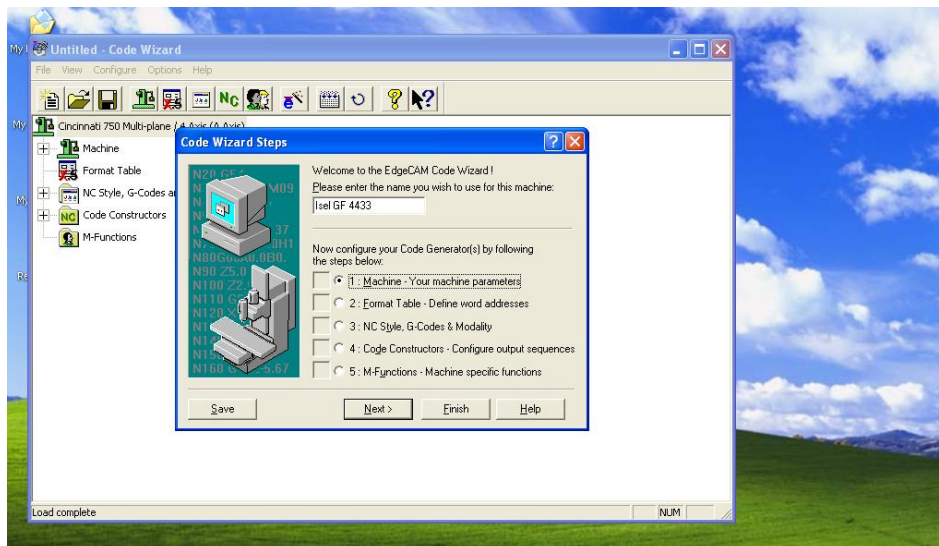


Figura 4.13 Alegerea parametrilor mașinii

88 Cerc. privind adapt. unei platforme operaț. pentru realiz. tehnicii de RE - 4

Rotația se realizează în jurul axei X, ceea ce înseamnă că axa corespunzătoare acesteia este A. Modul de alegere este prezentat mai jos (fig.4.14).

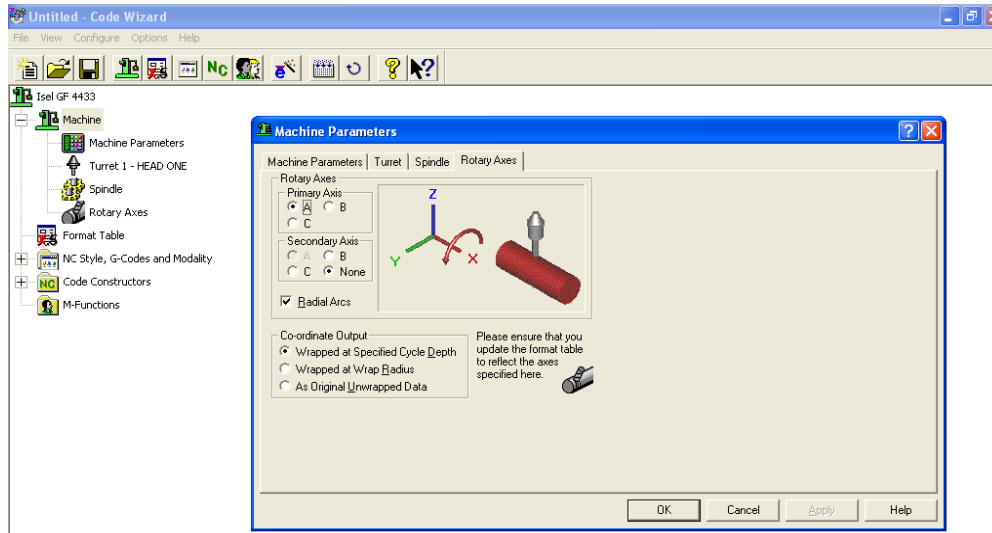


Figura 4.14 Definirea axei de rotație

Cel de-al 2-lea meniu se referă la definirea adreselor. Se poate opta atât pentru sistemul metric (mm) cât și pentru cel american (inch). O problemă apare în cazul axei de rotație, care are același corespondent și pentru prima axa de rotație și pentru a doua. Ne vom poziționa pe cea de-a 2-a axa și vom schimba litera din A în B (fig. 4.15)

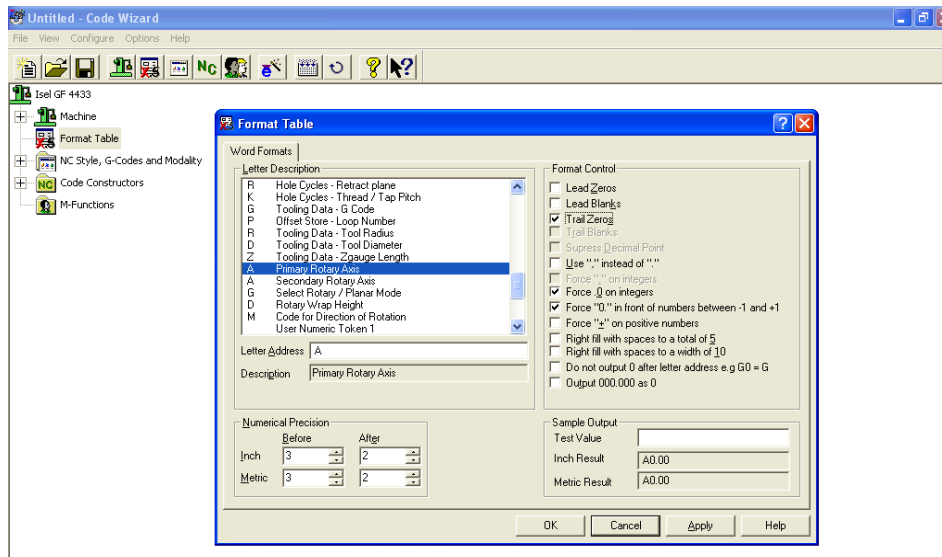


Figura 4.15 Definirea adreselor

Cel de-al 3-lea meniu constă în setări legate de interpolarea circulară, deplasări rapide, cicluri de găurire, axa de rotație, etc. (fig.4.16)

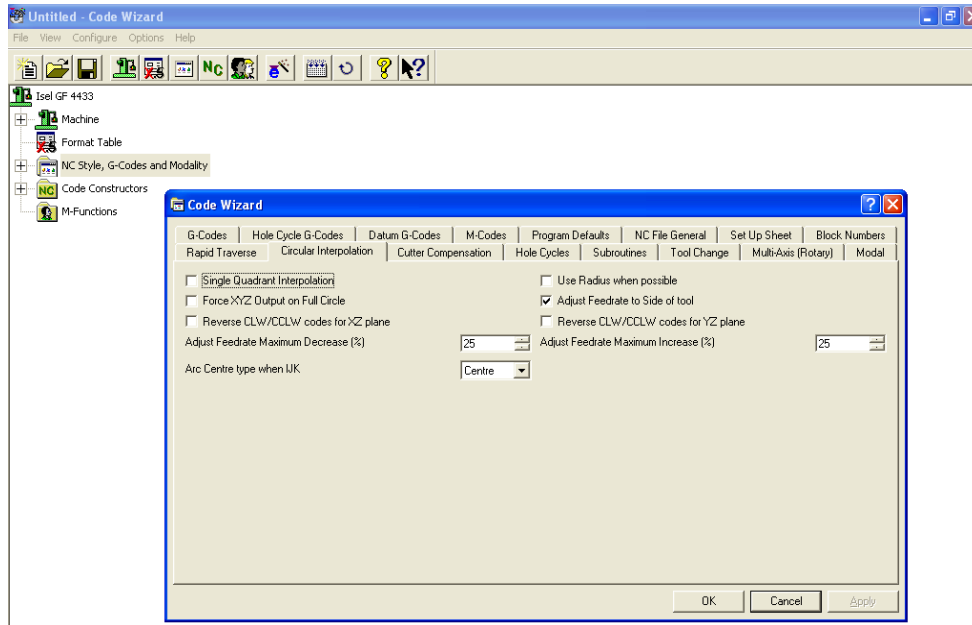


Figura 4.16 Setarea comenzilor mașinii

Cel de-al 4-lea meniu constă în scrierea codului propriu-zis. Acesta are 9 submeniuri, fiecare la rândul lui având alte submeniuri. Aici pe baza tabelului 4.5 pentru fiecare operație se va scrie comanda necesară (fig.4.17).

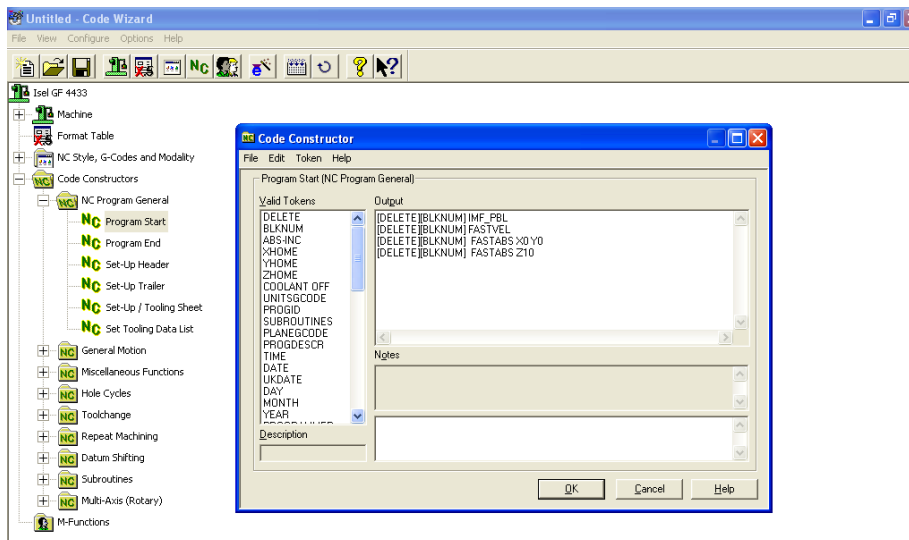


Figura 4.17 Inițierea programului de comandă numerică

În cazul interpolării liniare comenzile vor arăta ca în figura 4.18.

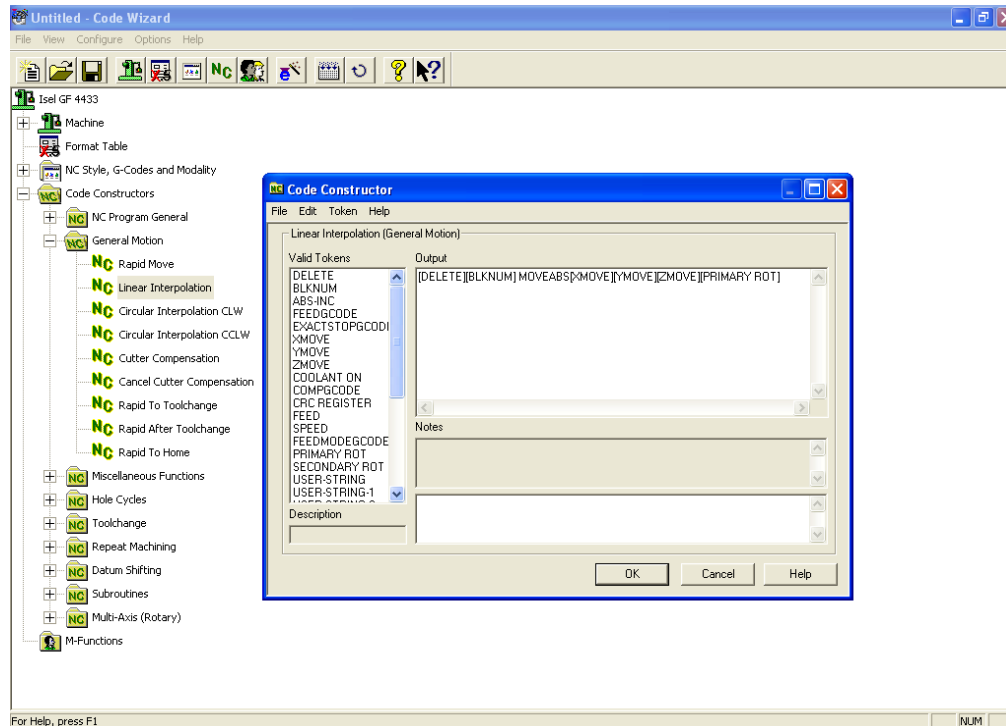


Figura 4.18 Scrierea comenzilor de interpolare liniară

Același lucru se va face cu toate celelalte meniuri și submeniuri obținându-se la final post-procesorul dorit.

4.3 Concluzii

Încă de la apariția primului sistem de prototipare rapidă (RP) pe piață, pentru dezvoltarea produselor, obiectivul a constat în realizarea de modele într-o manieră rapidă, cu scopul de a permite revizuirea și testarea eficientă a proiectării încă din faza de concepție. În prezent, la mai mult de 10 ani de la începuturile sale, tehnologia RP a evoluat în multe direcții, cum ar fi procesarea mai rapidă, o mai bună calitate a produsului și materiale noi.

În cadrul acestui capitol s-au prezentat echipamentele hard și soft folosite pentru realizarea părții experimentale a lucrării. S-au prezentat câteva cercetări privind ameliorarea facilităților tehnice ale echipamentelor prin determinarea repetabilității și reproductibilității mașinii de măsurat în coordonate TESA 3D.

În scopul reducerii costurilor s-a întocmit o documentație solidă și s-a prezentat totodată detaliat metodologia de realizare a unui post-procesor pentru mașina de prototipat rapid prin prelevare de material (frezare) ISEL GFM 4433. De precizat că această metodologie, este relativ simplă și poate fi aplicată pentru orice mașina cu comandă numerică.

5. CERCETĂRI PRIVIND APLICAREA TEHNICII DE REVERSE ENGINEERING PENTRU PRODUSE INJECTATE

5.1 Obiectivele cercetării

5.1.1 Platforma operațională

Fabricarea de matrițe, ca și prototipuri și ca și componentă finală ce poate fi folosită în producție, reprezintă una dintre cele mai lungi și mai costisitoare faze în procesul de dezvoltare al produsului. Ori și cum, producerea matrițelor prin metode convenționale de fabricație este caracterizată printr-un lung timp de prelucrare și costuri ridicate.

Așadar această abordare nu satisface cererea pentru dezvoltarea rapidă a produsului. Este crucial pentru multe companii să exploateze tehnologii noi care să le ajute la reducerea timpului și a costului în ceea ce privește fabricarea de matrițe.

Prototiparea rapidă a apărut ca și soluție, având abilitatea de a reduce ciclul de dezvoltare al produsului și durata de fabricație. Prototipurile obținute prin prototipare rapidă pot fi folosite pentru examinare vizuală, analiza ansamblurilor, evaluare ergonomică, modele pentru procese de fabricație secundare, etc. în diferite stadii ale dezvoltării produsului.

Înlocuirea tehnicilor tradiționale și obținerea modelelor folosind tehnicile de prototipare rapidă nu numai că reduce timpul total, dar totodată permite ca evaluarea proiectului să se realizeze la începutul fazei de dezvoltare pentru îmbunătățirea calității acestuia într-o fracțiune din timpul normal cerut de metodele tradiționale. În general aplicarea prototipării rapide în procesul de dezvoltare al produsului a condus la o scădere cu până la 60% din timpul total în raport cu metodele convenționale.

Reverse engineering-ul prin prototipare rapidă prin îndepărtare de material este esențial în zilele noastre pentru dezvoltarea rapidă a matrițelor, produselor "free form" și obiectelor stilizate.

O mașină CNC poate fi folosită în multe feluri pentru prototipare, reverse engineering și modelare. Ca și mașină de prototipat rapid, Isel-ul poate prelucra spumă, lemn, plastic și aluminiu creând în mod eficient prototipuri și reproducând piese. Avantajul acestei mașini este că prototipurile obținute pot fi folosite și ca piese finale.

Cu un pachet bun de soft CAD/CAM pot fi create atât modele pentru operații secundare cum ar fi turnarea, formarea sub vid.

Aceste modele sunt de regula 2.5D, ceea ce înseamnă că nu au subțieri și pot fi fabricate complet pe mașina Isel care are 3 axe. [PRO 07]

Pe baza acestor premise **obiectivul principal** al acestei lucrări constă în realizarea unor cercetări a căror finalitate să conducă la **optimizarea tehnicii de Reverse Engineering** la realizarea produselor injectate din **materiale plastice** integrând tehnicile de RE, RP, CAM. Deși avea la dispoziție echipamentele (hard) prezentate în capitolul 3, autorul a fost nevoit într-o primă etapă să „cunoască”

tehnicele de RE și RP. Acest lucru a fost posibil accesând diferite site-uri de jurnale on-line (<http://www.sciencedirect.com>, <http://www.springerlink.com>, <http://www.emeraldinsight.com>) și site-urile firmelor de specialitate.

Următorul pas a constat în punerea în funcțiune a mașinii de prototipat rapid prin prelevare de material ISEL. Din punct de vedere al echipării, aceasta necesita îmbunătățiri. În acest sens s-au achiziționat scule așchietoare necesare prelucrărilor viitoare precum și un sistem de prindere al pieselor (menghină).

Totodată, mașina a mai fost dotată cu un dispozitiv ce permite reglarea lungimii sculelor pe direcția Z (Setter). Așadar, un **prim obiectiv** a fost cel de **completare a mașinii de prototipat** cu dispozitivele și sculele ce o făceau funcțională pentru cerințele dorite.

Din punct de vedere al softului operațional, mașina era prevăzută cu un soft de proiectare CAD 2D. Acesta nu permitea importarea de modele geometrice (3D), prelucrarea fiind numai una de conturare (softul CAM fiind sărăcăcios în funcții).

Autorul și-a propus astfel să **găsească** o **soluție** prin care să poată **importa și prelucra modelele geometrice**.

În continuare, cercetările s-au axat pe studiul posibilităților de scanare de pe mașina de scanat și frezat MODELA. Fișierele obținute în urma scanării puteau fi salvate fie în format IGES, fie în format STL. Aceste fișiere urmau inițial să fie prelucrate în softuri CAD (pentru îmbinarea, de exemplu, a două entități și obținerea piesei finale), iar apoi în softuri CAM. Mărimea exagerată a fișierelor IGES (pana la 200Mb pentru model complet) l-a constrâns pe autor să folosească fișierele STL. Această decizie a dus la apariția altor probleme: programele tradiționale CAD nu au dezvoltată partea de aplicații cu fișiere STL.

Se impunea deci **găsirea** unor **softuri** care să permită **obținerea pieselor** prin îmbinarea (**operații booleene**) mai multor entități.

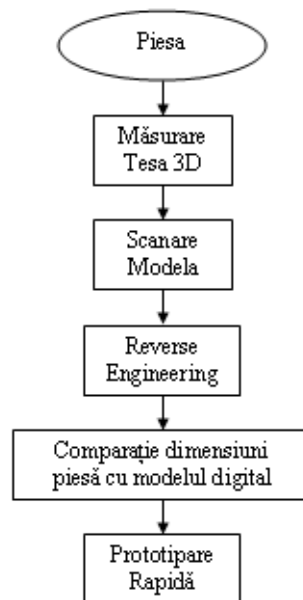


Figura 5.1 Schema de principiu a metodologiei de lucru

Scopul RE constă atât în realizarea modelelor geometrice (virtuale sau fizice), dar și a sculelor necesare obținerii acestora (părțile active ale matrițelor). Autorul a fost nevoit deci să **găsească** un soft care să permită **obținerea** acestor **parți active** constrâns fiind din nou de faptul că se lucrează cu fișiere STL.

Pe baza acestor obiective autorul a putut să-și stabilească metodologia de lucru, metodologie a cărei schemă de principiu este prezentată în figura 5.1.

5.2. Studiul posibilităților de utilizare a opțiunii “Mold Tool” pentru modelarea geometrică a cavităților matrițelor de injectare sub mediul “Solid Works 2006”

5.2.1 Considerații generale

Realizarea părților active ale matrițelor pornind de la un solid se poate face folosind mediul “SolidWorks”. În continuare vom prezenta această metodologie.

În figura 5.2 este redată bara de meniuri pentru comenzile de generare a sculei pentru realizarea elementelor active (*Tooling Split*) ale matrițelor de injectare:



Figura 5.2 Meniurile barei de comenzi “Scula de injectare”

- (1) Suprafața Plană-(**Planar Surface**): creează o suprafață plană folosind schița unui contur închis sau un set de muchii de pe piesa master;
- (2) Suprafața Offsetată-(**Offset Surface**): creează o suprafață offsetată folosind una sau mai multe suprafețe continuu alăturate;
- (3) Suprafața radiantă-(**Radiate Surface**): dezvoltă o suprafață de separație radiantă având originea la o muchie, paralel cu un plan ;
- (4) Suprafața riglată-(**Ruled Surface**): creează o suprafață riglată mărginită de muchii;
- (4) Suprafața “petec”-(**Filled Surfaces**): creează suprafețe fațetate (Surface Patch) printr-un contur marginal închis definit de muchii existente, schițe sau alte curbe;
- (6) Suprafața de unire-(**Knit Surfaces**): combină mai multe suprafețe adiacente care nu se intersectează ;
- (7) Analiza de umplere-(**MoldflowXpress Analyses Wizard**): rulează o analiză de curgere și umplere a cavității matrițelor la injectare folosind FEM/FEA;
- (8) Analiza de înclinare a pereților-(**Draft Analyses**): analizează demulabilitatea pieselor injectate, pe baza unghiului de înclinare al pereților în raport cu direcția de extragere;
- (9) Detectarea subtăierii-(**Undercut Detection**): identifică suprafețele piesei master care realizează subtăiere cu pereții elementelor active ale matriței de injectare;
- (10) Linie de separație-(**Split Line**): proiectează o schiță, o curbă, sau o suprafață plană, creând suprafețe de separație multiple;
- (11) Înclinare fațetă-(**Draft**): modifică înclinarea unei fețe la un unghi precizat față de un plan neutru sau o linie de separație;

Există două strategii de generare a componentelor active ale unei matrițe de injectare, respectiv:

1. Se pornește de la solidul care reprezintă piesa finală și în modul ansamblu interimar, se inserează într-un paralelipiped reprezentând cele două componente active ale matriței: cavitatea și miezul reunite. Prin constrângere se controlează poziționarea piesei în raport cu blocul paralelipipedic de bază. Se scalează ansamblul interimar în raport cu centroidul sau un sistem de referință pentru a se ține cont de contracția materialului. Se generează pe fețele lateral linii de separație și se dezvoltă o suprafață de separație pe baza căreia se divide blocul paralelipipedic, obținându-se ca și solide derivate: cavitatea și matrița. Această metodă este creată în SolidWORKS încă din versiunile inițiale și folosește comenzile: 1,2,3,4,5,6 și 10 din bara de meniuri a comenzii "Scula de injectare" (*Mold Tools*),

2. Începând cu versiunea SW 2004, a fost introdusă în modul "Piesă solidă individuală" (*Solid part*) o altă strategie de dezvoltare direct pe modelul solid a celor două componente active: cavitate (*Cavity*) și miez (*Core*), folosind comenzile: 13, 14, ... , 19. Această metodă este foarte puternică și comodă.

OBSERVAȚIE: metodele de generare ale cavităților și miezurilor se pot aplica atât pentru realizarea matrițelor de injectare, de tumare sub presiune, de forjare sau a modelelor și miezurilor de formare în nisip.

5.2.2 Studiu de caz pentru reperul "Digitizator de mouse"

În continuare se prezintă pașii de realizare a modelului geometric pentru cele două armaturi respectiv cavitatea (*cavity*) și miezul (*core*) din care se realizează elementele active ale unei matrițe de injectare cu un plan de separație. Piesa luată în studiu este un capac de la digitizorul grafic (mouse) prezentată în figura 5.3. Piesa se execută prin injectare din "Polyamida PA66".

a). Primul pas în proiectarea elementelor active este scalarea piesei față de centroidul acesteia corespunzător unei contracții de 0,8%, comenzile fiind explicitate în figura 5.4:

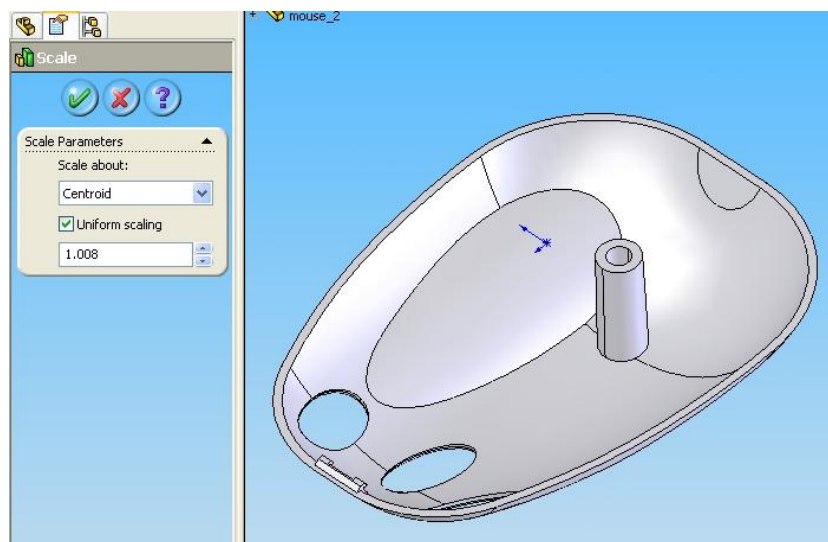


Figura 5.3 Scalarea modelului solid

b). Al doilea pas constă în studiul posibilităților de extracție a piesei și implicit prin detectarea sau crearea unei linii de separație a posibilităților de separare în cavitate și miez (fig. 5.4);

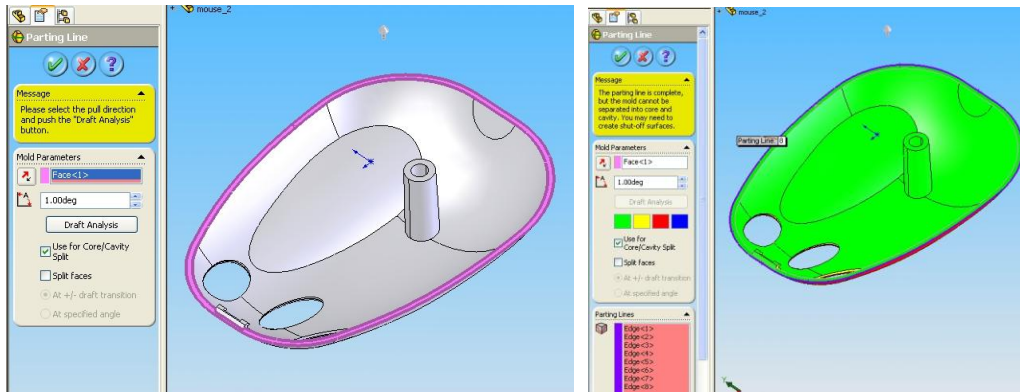


Figura 5.4 Studiul posibilităților de creare a planului de separație

În acest pas dacă piesa prezintă un contur închis neambiguu programul îl detectează automat. De asemenea prezintă prin culori verde, galben și roșu suprafețele care față de direcția de extracție precizată de programator pot fi extrase sau prezintă dificultăți și imposibilitatea extragerii din matrită.

c). În continuare se realizează închiderea orificiilor existente pe pereții piesei, programatorul indicând de care din elementele active se vor atașa bosajele complementare suprafeței de închidere (fig. 5.5);

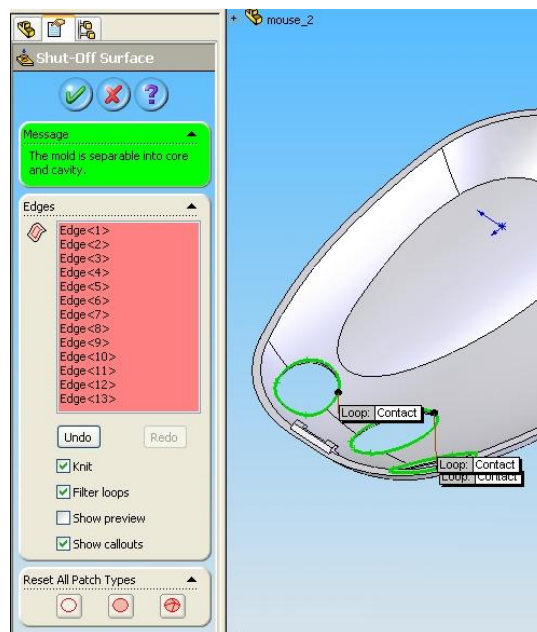


Figura 5.5 Închiderea orificiilor de pe pereții piesei

d). În pasul următor se realizează construirea planului de separație în baza liniei de separație care determină o suprafață complexă (Kilt), (fig.5.6);

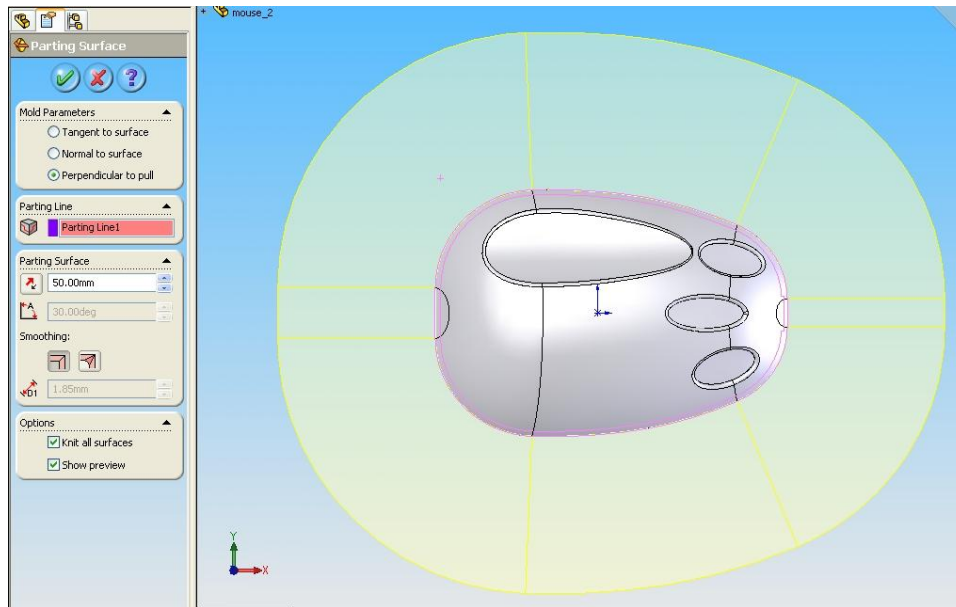


Figura 5.6 Construirea planului de separație

În acest pas se recomandă construirea schiței corespunzătoare extrudării blocului elementelor active. Această schiță se salvează.

e). Se construiește scula de separare în cavitate-miez (fig.5.7);

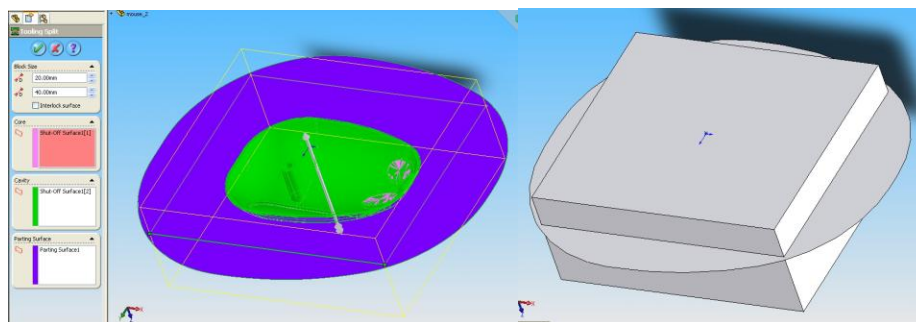


Figura 5.7 Construirea sculei de separare în cavitate-miez

f). În ultimul pas se realizează "despicarea" blocului elementelor active pe baza sculei de separare corespunzător planului de separație, detectat anterior (fig.5.8);

Observație: cele două "pastile" active vor fi prevăzute cu orificii pentru știfturile de poziționare și șuruburi de fixare pentru a constitui împreună cu rețeaua de injectare și canalele de răcire, plăcile active compuse prin armare.

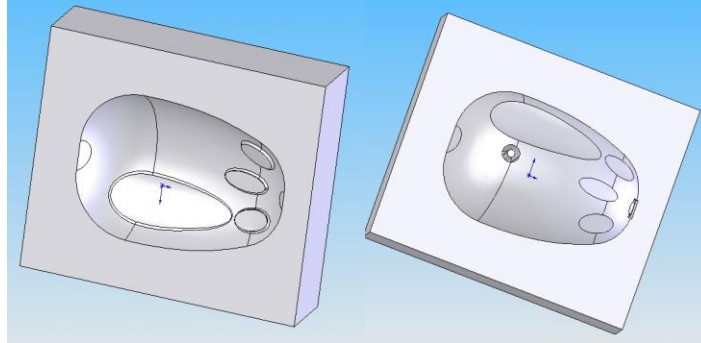


Figura 5.8 Obținerea celor doua elemente active cavitate-miez

5.2.3 Utilizarea opțiunii “MoldflowXpress” pentru modelarea umplerii matriței la injectare

Această opțiune a fost introdusă începând cu versiunea SolidWorks 2005, și permite studiul umplerii matriței pe baza modelului solid al piesei de injectat.

Limitarea acestei versiuni este aceea că, permite aplicarea unui singur punct de injectare. Acest dezavantaj poate fi eliminat prin construirea unui model care să includă culeea și rețeaua de injectare, astfel încât limitarea unui singur punct de injectare, respectiv capătul culei dispăre. În schimb neajusul constă în construirea modelului care este mult mai complex.

Pentru construirea modelului, SolidWorks-ul oferă o strategie care ușurează realizarea lui. Acesta constă în rezumat în următorii pași:

- Se realizează rețelele corespunzătoare studiului;
- Se creează modelul solid al ansamblului culee-rețea-piesă prin constrângerea poziției (mate) acestora;
- După salvarea ansamblului, se introduce un nou solid și se punctează o suprafață comună (de regulă suprafața de separație) moment în care sistemul permite realizarea operației Booleane de unire a solidelor : culee, rețea-piesă determinând noul “solid” derivat;
- Se aplică procedura “**MoldflowXpress**” pe acest nou solid.

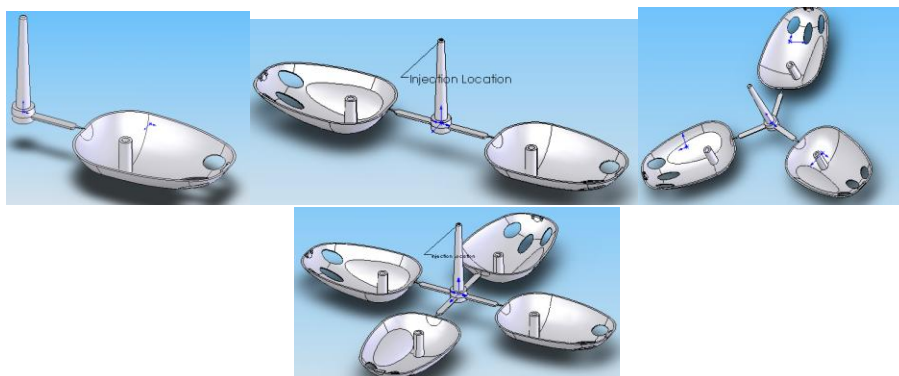


Figura 5.9 Modele de injectare

Opțiunea rezolvă prin metoda FEM/FEA pe baza caracteristicilor de material, a temperaturilor de injectare și a sculei, studiul curgerii și determina timpul de injectare estimativ informând dacă procesul decurge corect (semafor verde), este nesigur (semafor portocaliu) sau este imposibil (semafor roșu). Sistemul permite vizualizare dinamică a câmpurilor de curgere și salvează rezultatele în format e-drawings.

Modelele pentru injectarea reperului "mouse" au fost concepute pentru injectare în rețea cu 1, 2, 3 și 4 piese așa ca în figurile 5.9.

Pașii necesari pentru analiza unui caz sunt următorii :

- Alegerea punctului de injecție ;

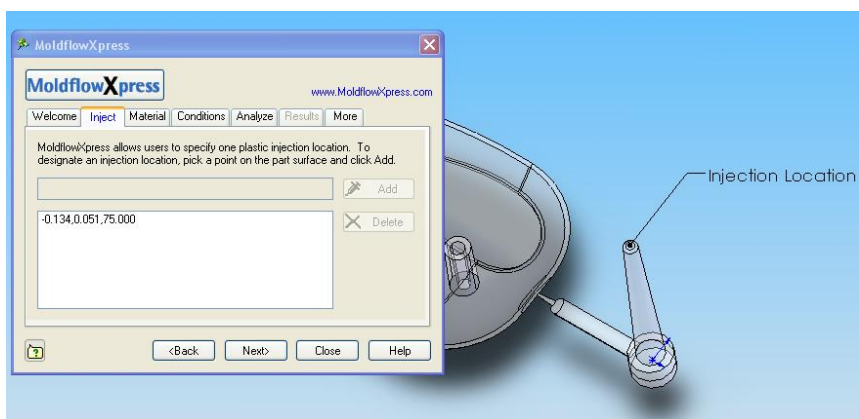


Figura 5.10 Alegerea punctului de injecție

- Alegerea materialului corespunzător studiului;

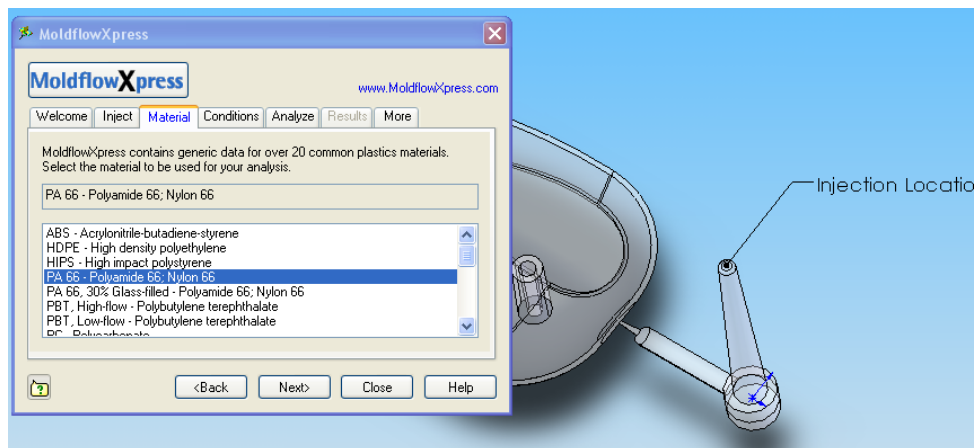


Figura 5.11 Alegerea materialului pentru piesa injectată

- Alegerea condițiilor de injectare: temperatura de injectare a materialului și a matriței. Programul setează ca valori implicite valorile medii pe fiecare domeniu,

dar acestea pot fi modificate pentru optimizarea umplerii și a timpului de umplere în intervalul propus de program;

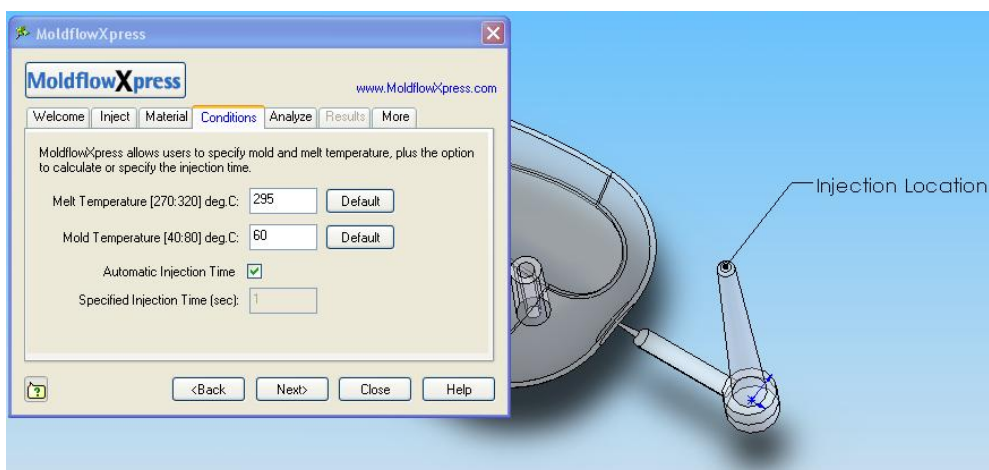


Figura 5.12 Alegerea condițiilor de injectare

- Pasul următor este cel al rulării parametrilor setați;

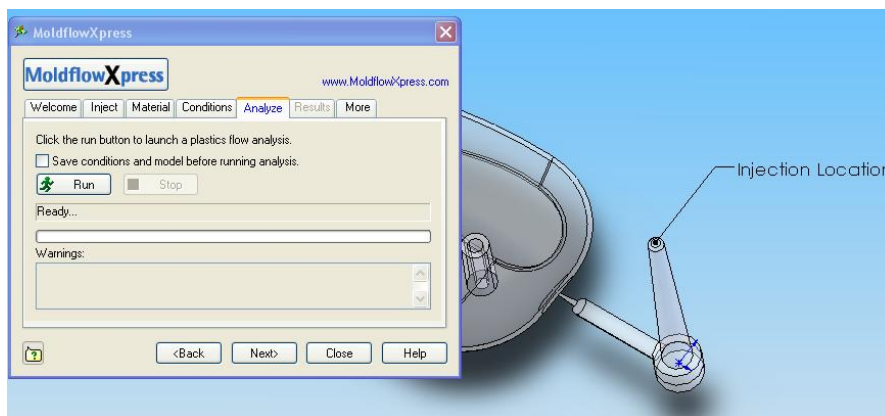
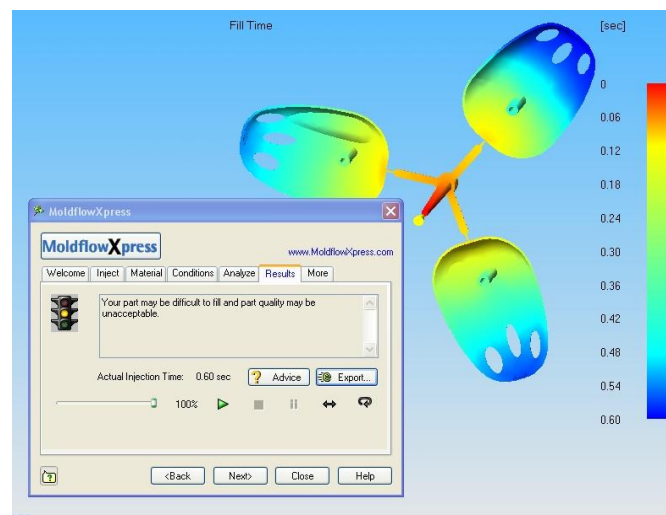
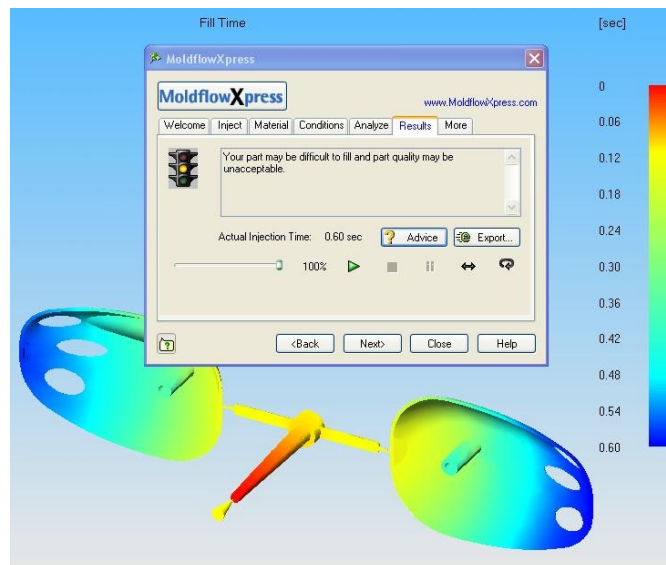
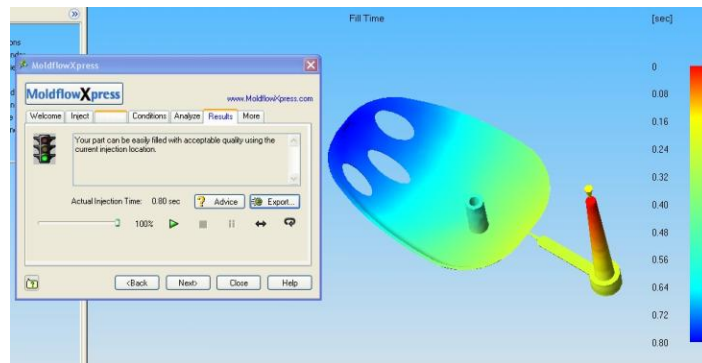


Figura 5.13 Rularea valorilor implicite sau resetate

În continuare se redau valorile simulărilor pentru cele 4 cazuri. Se constată faptul că mărirea temperaturii de injectare și scăderea temperaturii matriței conduce la scurtarea ciclului de injectare. Desigur că mărirea numărului de cuiburi scade substanțial timpul pe o piesă injectată, dar pot apărea probleme de umplere, de contracții și deformării necontrolate fapt semnalat de program.

Se mai pot îmbunătăți situațiile, prin alegerea mai multor puncte de injectare, echilibrarea rețelei, modificarea secțiunii pragurilor de injecție, dar aceste modificări apelează la expertiza programatorului în domeniu. Acest lucru este prezentat în figurile de mai jos (figura 5.14).

100 Cercetări privind aplicarea tehnicii de RE pentru produse injectate - 5



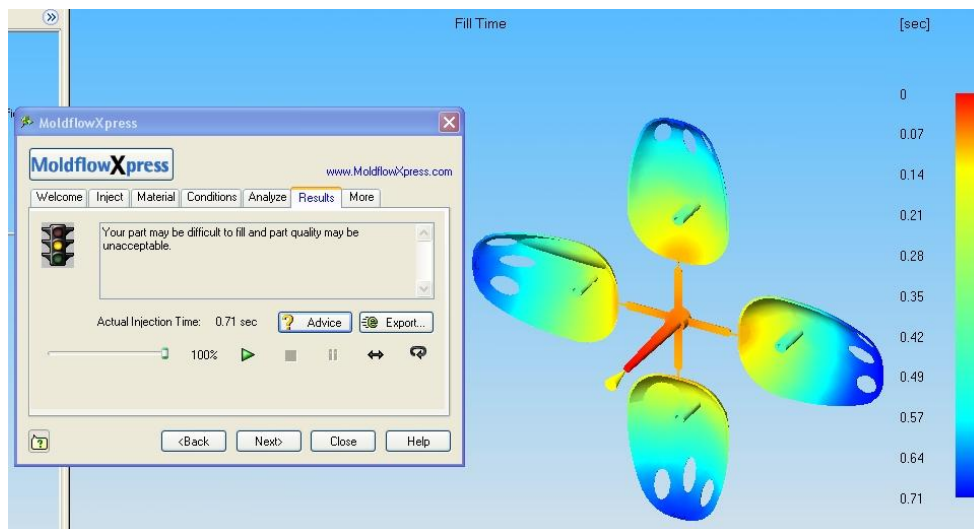


Figura 5.14 Simularea umplerii matritei

5.3 Strategii de obținere a unei piese prototip

Softul de prototipare rapidă constă în crearea foarte rapidă a unei versiuni de lucru (un prototip) pentru o aplicație, pentru a testa aspecte diferite ale designului, pentru a demonstra concepte sau trăsături și, cel mai important, pentru a primi un feedback rapid de la utilizator. Beneficiile primare ale softului de prototipare rapidă sunt:

- Confirmă fezabilitatea tehnică a arhitecturii unei aplicații;
- Asigură că pachetul software oferit îndeplinește cerințele utilizatorului;
- Reduce timpul de dezvoltare;
- Reduce costurile. [MUR 07]

Vom folosi softul EdgeCam. EdgeCAM este ca pachet software CAM, soluția completă pentru frezare, strunjire, frezare/strunjire, prelucrarea suprafețelor "free form" și modelarea solidă pentru mașinile de producție în aplicațiile cu matrite.

Edge Cam oferă o gamă întreagă de funcționalități de modelare de suprafață care pot fi folosite de producător la fel de eficient pentru a fabrica o cantitate mare de loturi.

Strategiile inteligente de abordare oferă o calitate superioară a suprafețelor odată cu optimizarea timpilor de producție și maximizarea duratei de viață a sculei. Cu EdgeCam totul este verificat pe ecran înainte de a intra în procesul de producție. Operatorii pot verifica chiar nivelul de finisare a suprafeței care poate fi obținut. [COS 06a]

5.3.1 Studiu de caz pentru prelucrarea unei cavități de matrită

Diferite aplicații au fost prezentate de către autor în lucrările prezentate la conferințe și publicate în "Academic Journal of Manufacturing Engineering". [COS 06 a], [COS 06 b].

Aplicația se va realiza pentru una dintre cavitățile matriței (placă), procedura de generare a comenzii numerice fiind aceeași și pentru cealaltă cavitate (poanson) – fig.5.15.

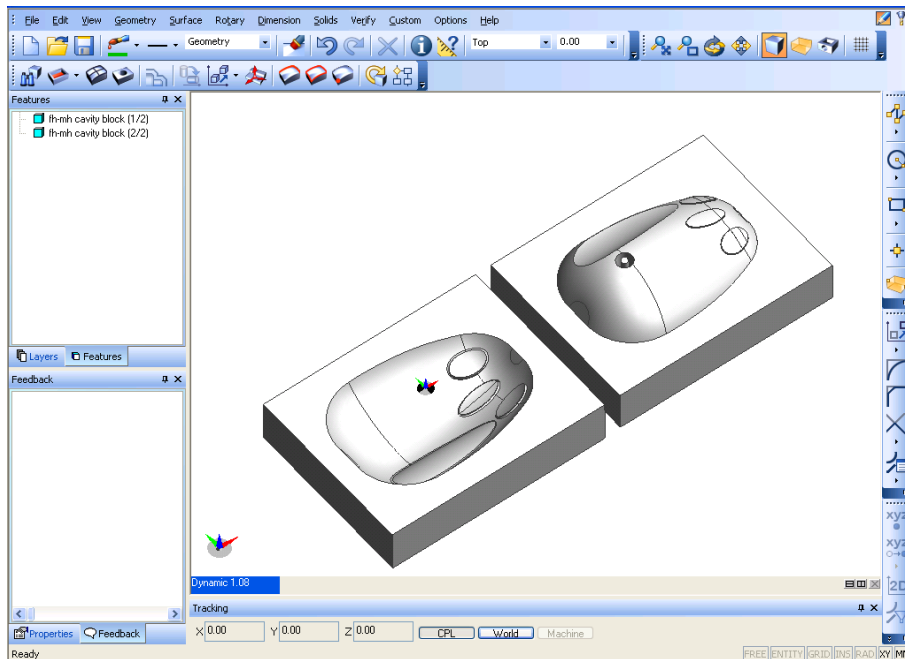


Figura 5.15 Modelul geometric al celor două cavități

Piesa (placă) ce se dorește a fi obținută este prezentată în figura de mai jos:

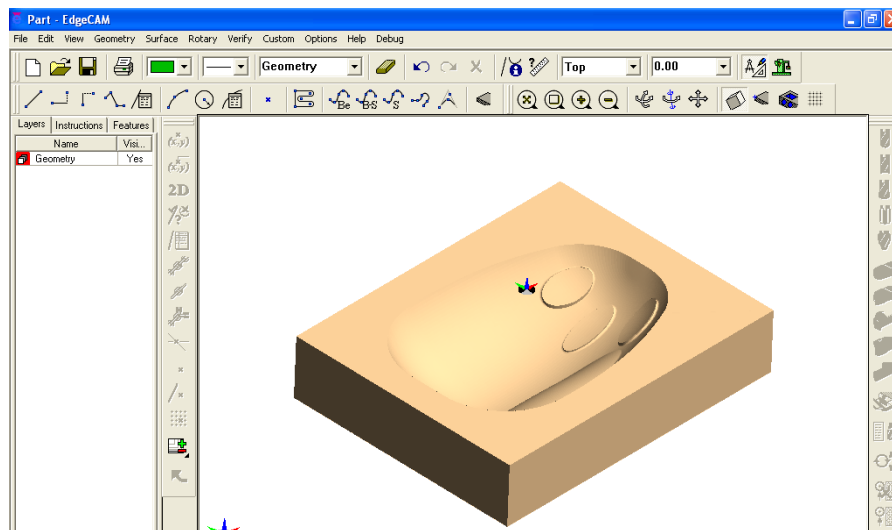


Figura 5.16 Piesa ce se dorește a fi prelucrată

a). Prima etapă constă în **definirea semifabricatului (SF) virtual**. În funcție de forma piesei se poate alege un SF tip "Box" sau "Cylinder". Apar doua situații:

- fie dimensiunile SF virtual sunt egale cu cele ale SF fizic (fig.5.17);
- fie cazul în care SF fizic este mai mare decât cel virtual, caz în care în fereastra cu X_{Min} , X_{Max} se adaugă pe cele trei axe diferența.

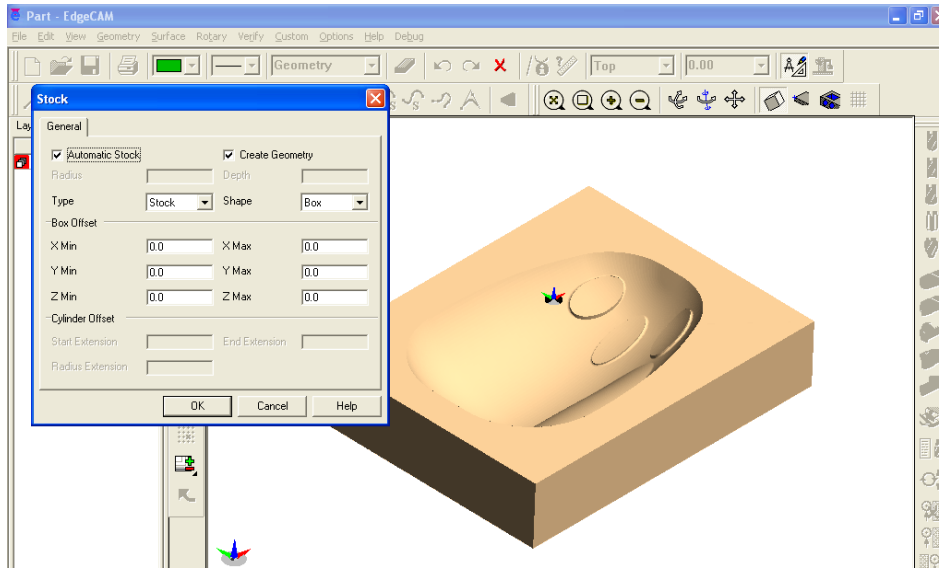


Figura 5.17 Definirea SF virtual

b). **Definirea originii piesei** se poate face:

- definire printr-un arc;
- normal la o linie;
- prin trei puncte (fig.5.18)

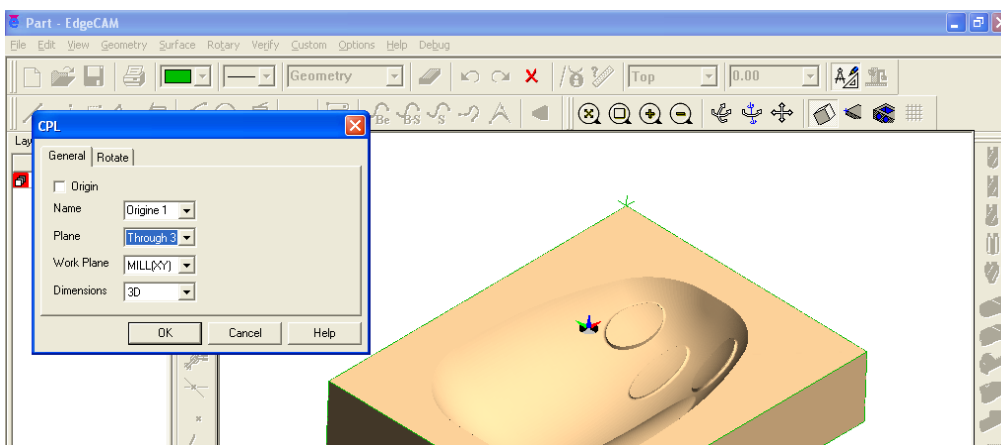


Figura 5.18 Definirea originii piesei

c). **Definirea** primei secvențe de prelucrare (îndreptare). Pentru a realiza bazarea este necesar ca într-o primă fază să se realizeze o **prelucrare frontală** (fig.5.19).

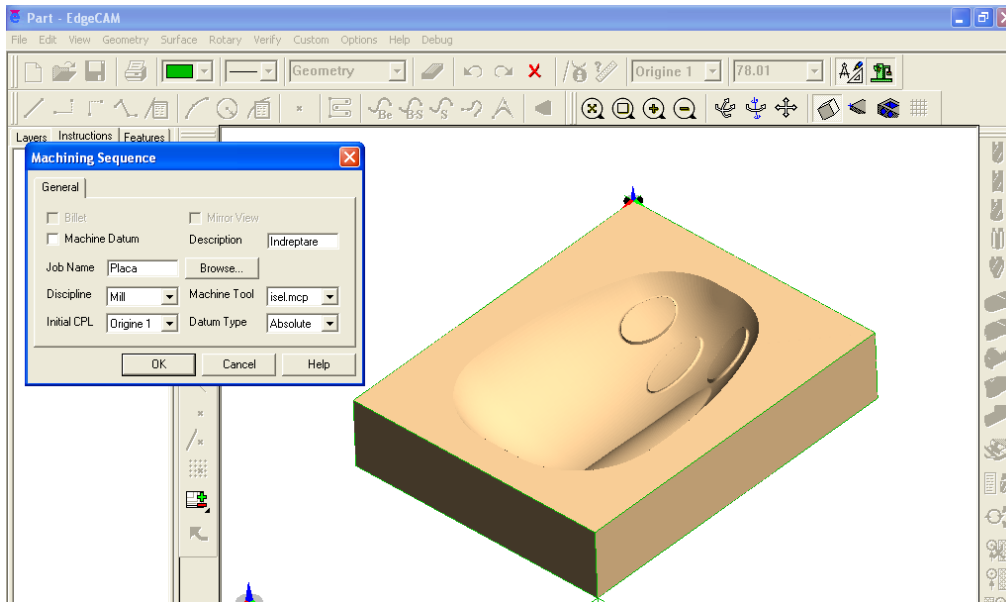


Figura 5.19 Selectarea secvenței de prelucrare frontală

c1). Selectarea sculei (frezei) în cazul prelucrării frontale

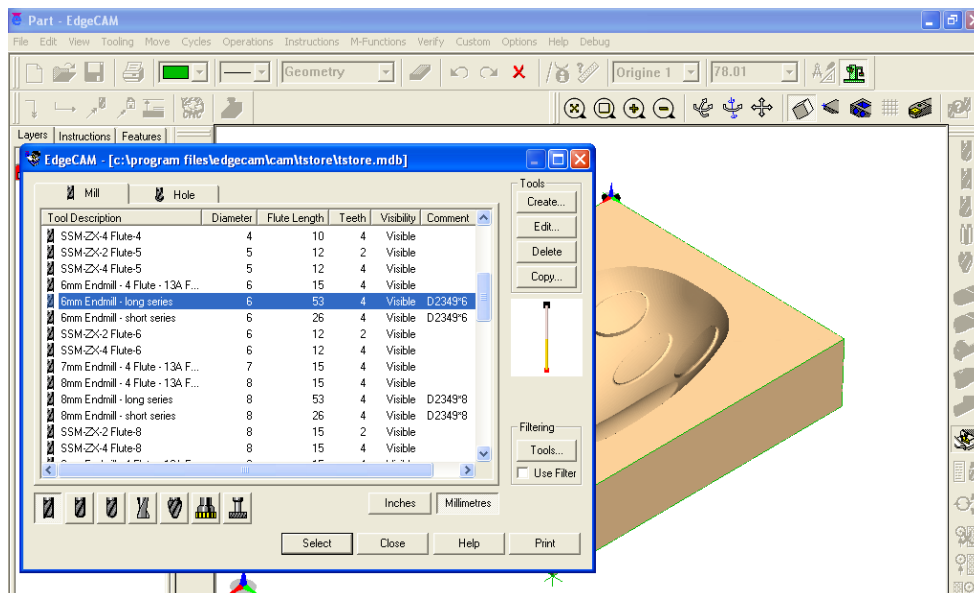


Figura 5.20 Alegerea sculei pentru prima secvență

c2). Alegerea parametrilor de lucru pentru prima secvență de prelucrare (fig.5.21)

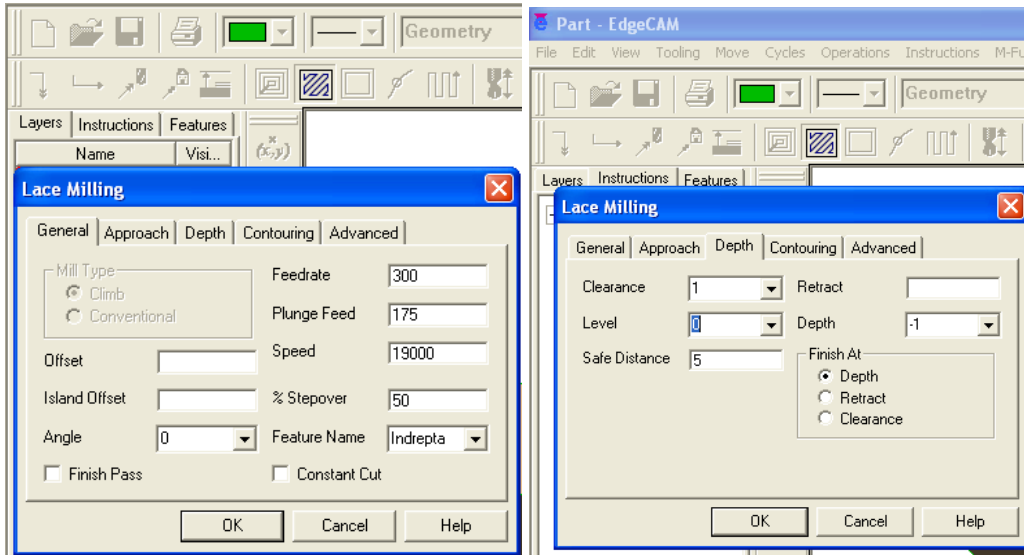


Figura 5.21 Alegerea parametrilor de lucru pentru frezarea frontală

c3). Simularea traiectoriei sculei (urma sculei) este prezentată în figura 5.22.

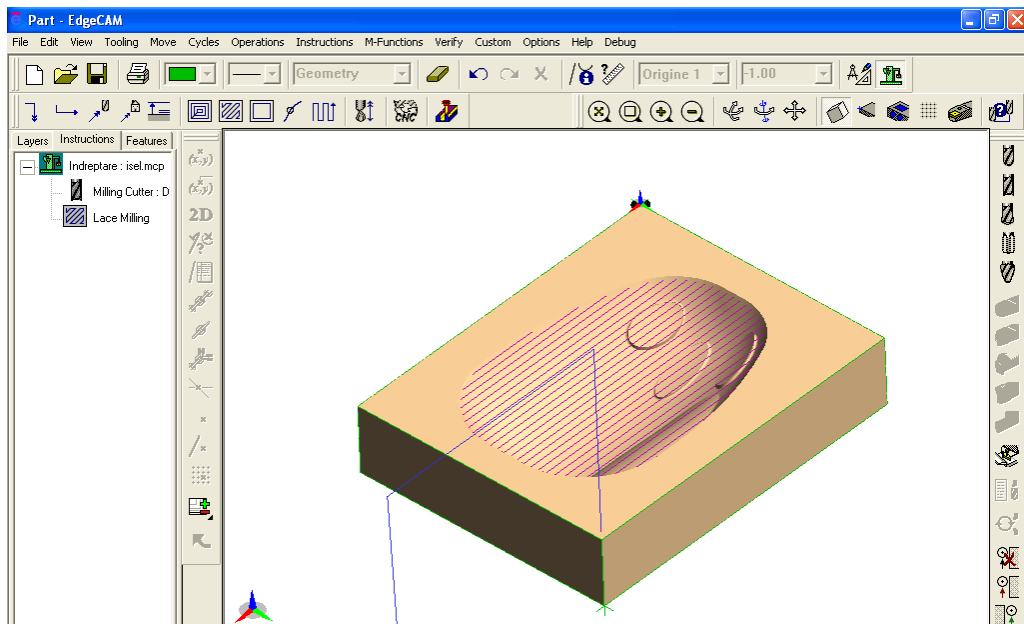


Figura 5.22 Traiectoria sculei pentru prelucrarea frontală

c4). Simularea virtuală a prelucrării

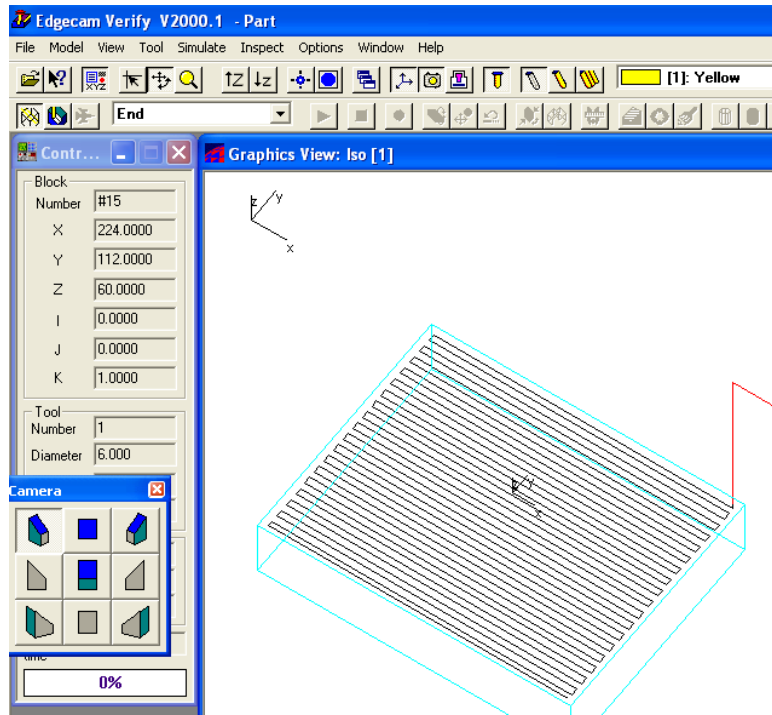


Figura 5.23 Simularea prelucrării

d). Inițializarea secvenței de degroșare (fig.5.24)

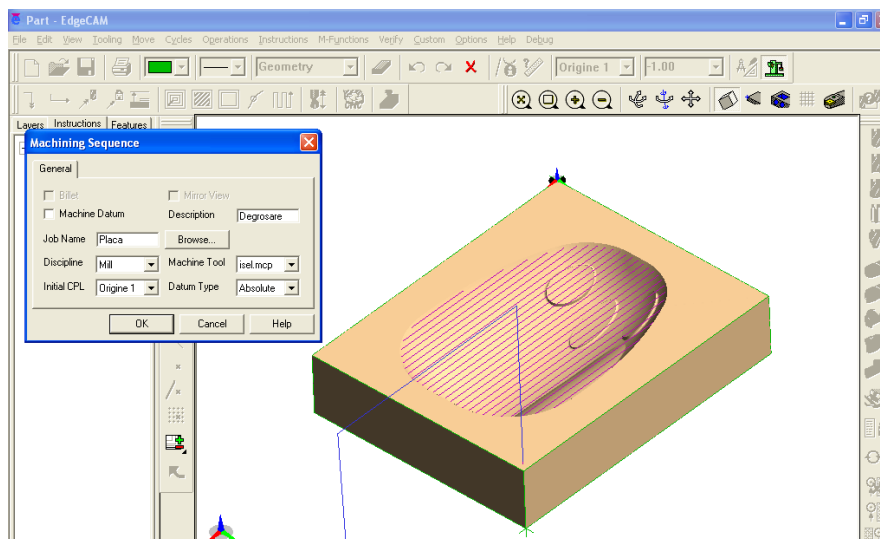


Figura 5.24 Inițializarea fazei de degroșare

d1). Alegerea strategiei de prelucrare și a parametrilor de lucru (fig.5.25)

d.1.1). Pocket:

a). Plunge

- direcția de frezare: dinspre exterior spre interior;
- tipul frezării: optimizat;
- adâncimea de așchiere: 1 mm;
- timpul de lucru estimat: 3h2'14";

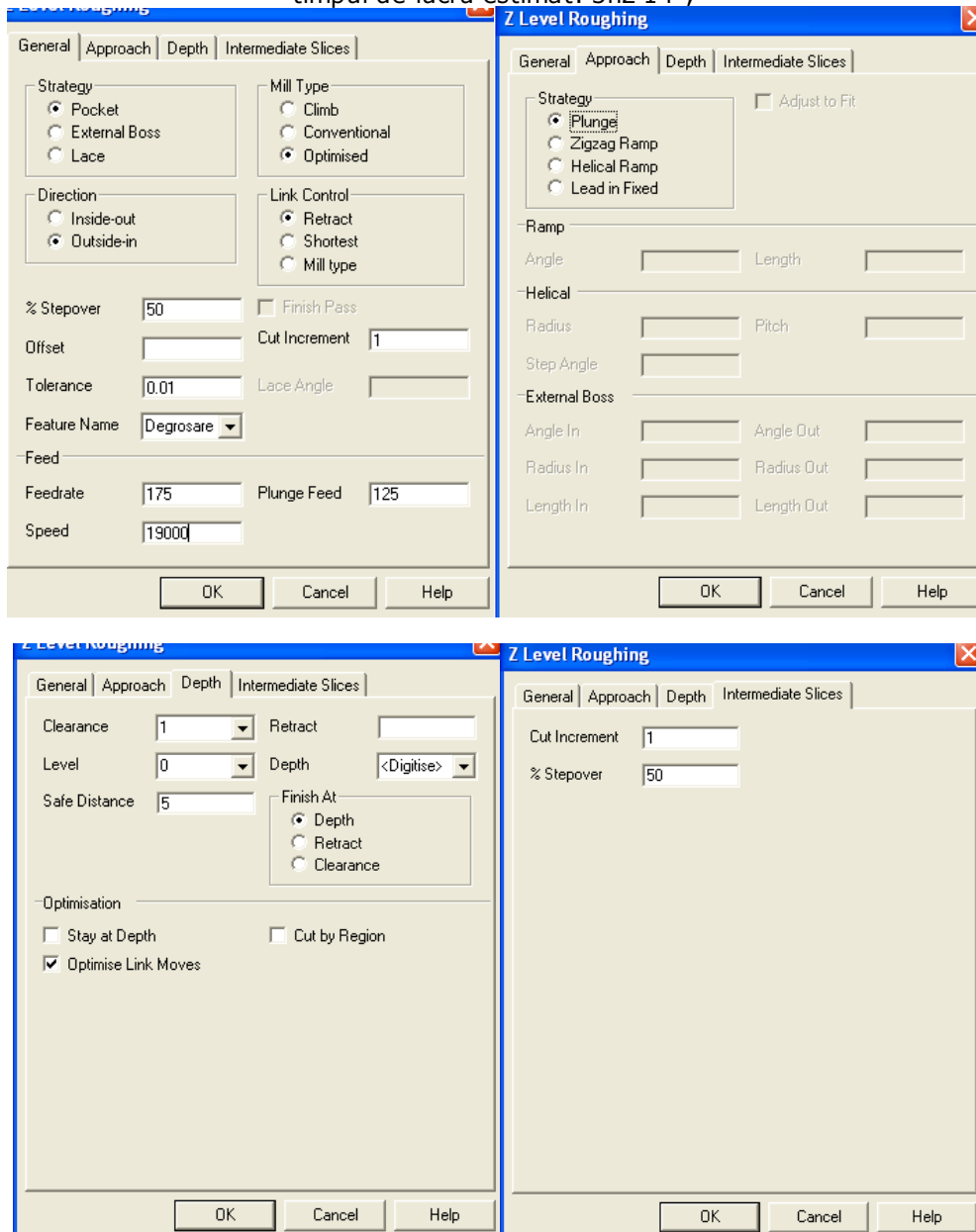


Figura 5.25 Alegerea strategiei de frezare și a parametrilor de lucru

d2). Generarea traiectoriei sculei

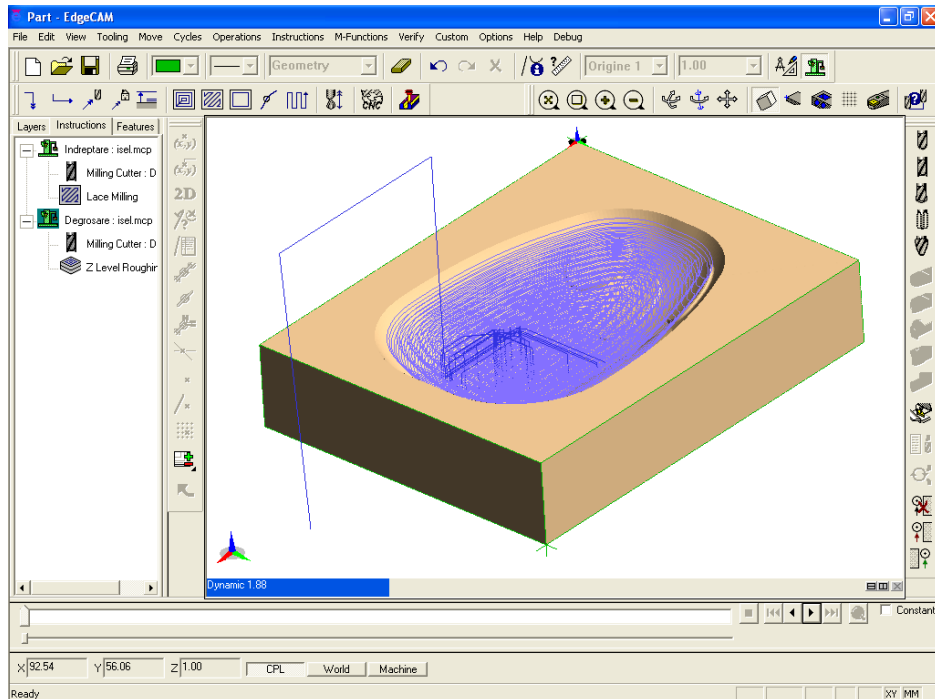


Figura 5.26 Generarea traiectoriei sculei

d3). Simularea virtuală a degroșării

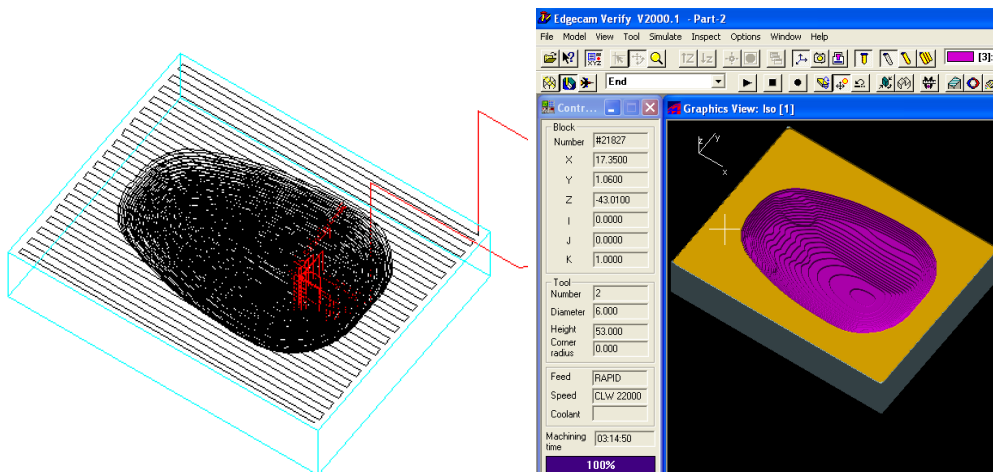


Figura 5.27 Simularea prelucrării de degroșare

În cazul strategiei Zigzag Ramp, timpul de lucru obținut a fost de 7h46'49", direcția de frezare dinspre interior spre exterior impusă.

În cazul strategiei Helical Ramp, timpul de lucru obținut a fost de 6h26'39", direcția de frezare dinspre interior spre exterior impusă. În cazul strategiei Lead în Fixed, timpul de lucru obținut a fost de 6h13'7", direcția de frezare dinspre interior spre exterior impusă.

e). **Inițializarea secvenței de finisare:**

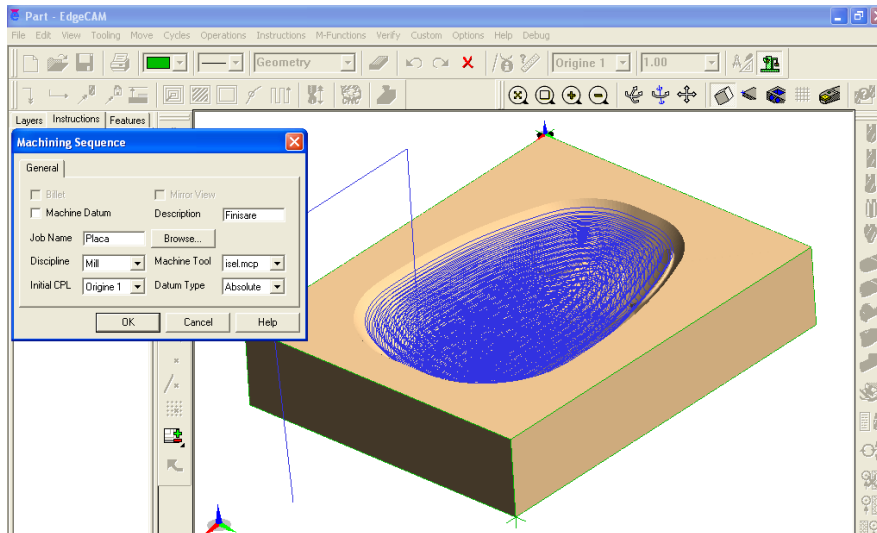


Figura 5.28 Inițializarea secvenței de finisare

e1). Alegerea sculei pentru finisare: freza cu cap semisferic

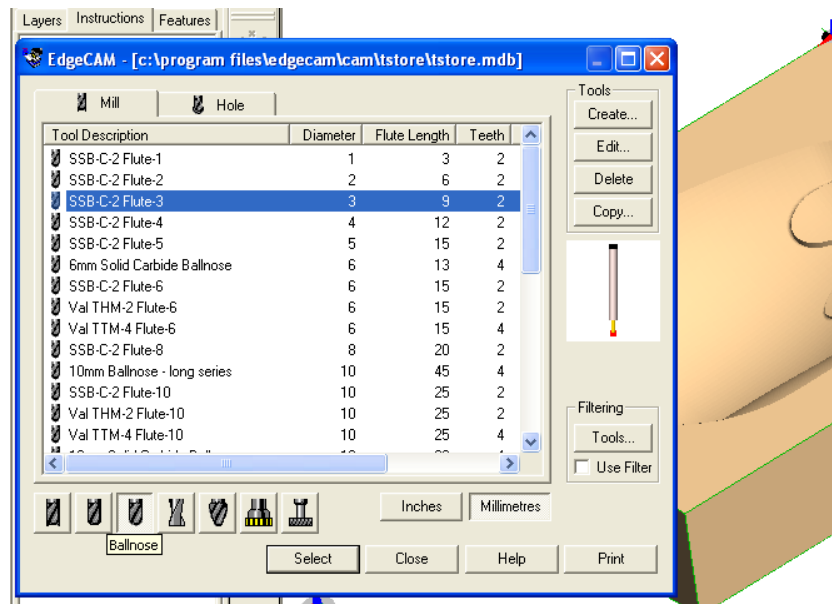


Figura 5.29 Selectarea sculei "ball mill" pentru finisare

e2). Alegerea strategiei și a parametrilor de aşchiere la finisare

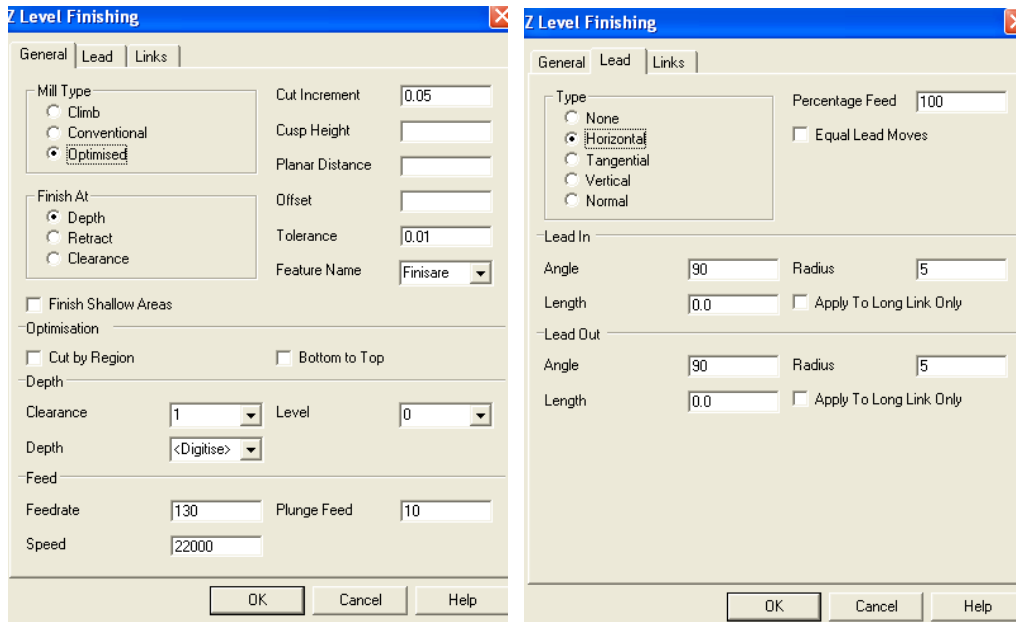


Figura 5.30 Alegerea strategiei și a parametrilor de aşchiere la finisare

e3). Traectoria sculei la finisare

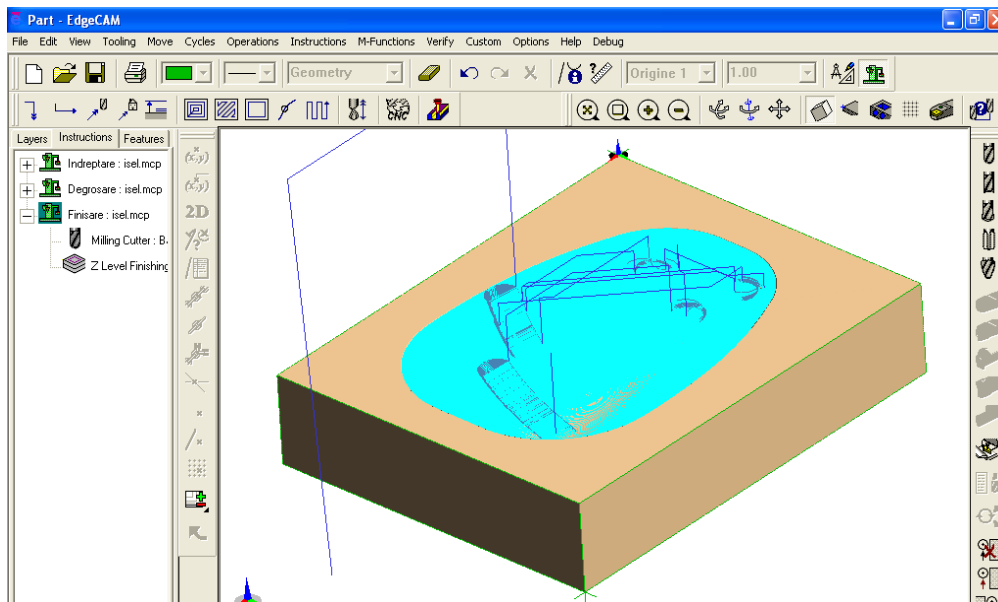


Figura 5.31 Traectoria sculei la finisare

e4). Simularea virtuală a frezării de finisare

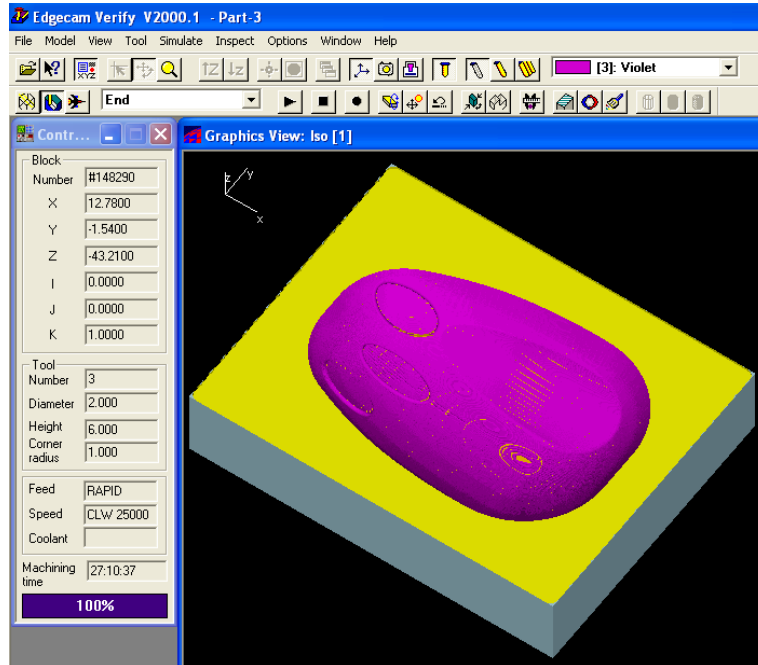


Figura 5.32 Simularea frezării de finisare

f). Inițializarea fazei rest la finisare

f1). Alegerea sculei pentru rest la finisare

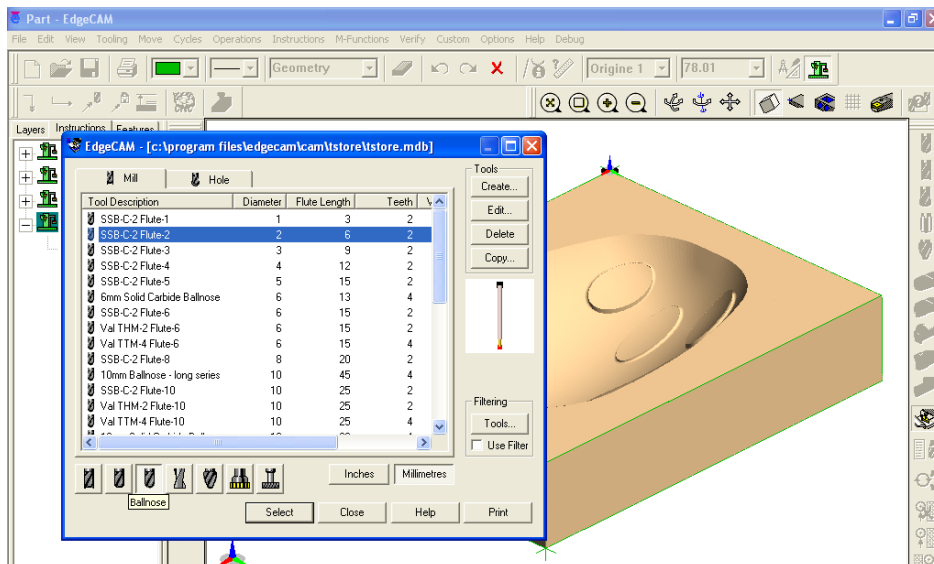


Figura 5.33 Selectarea sculei pentru rest la finisare

f2). Alegerea parametrilor de aşchiere la rest finisare

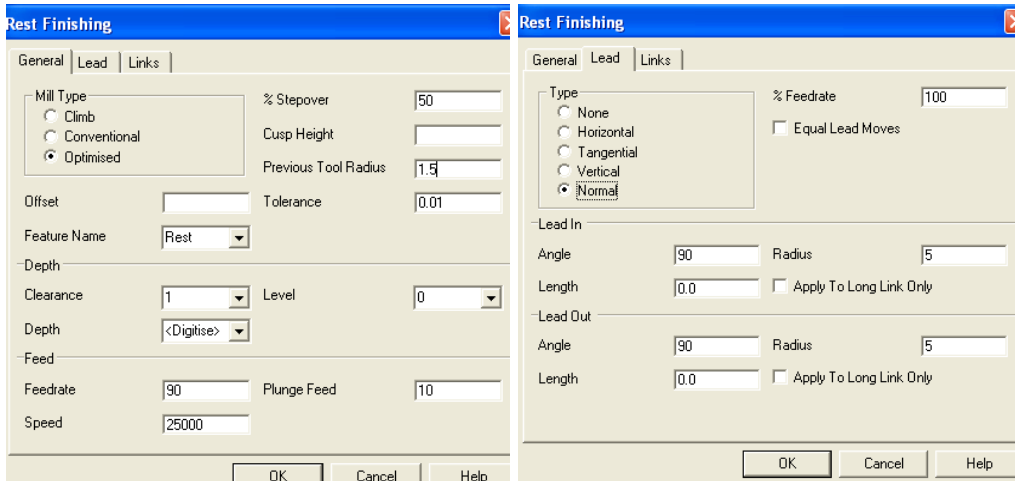


Figura 5.34 Alegerea parametrilor de aşchiere la rest finisare

f3). Traectoria sculei la rest finisare

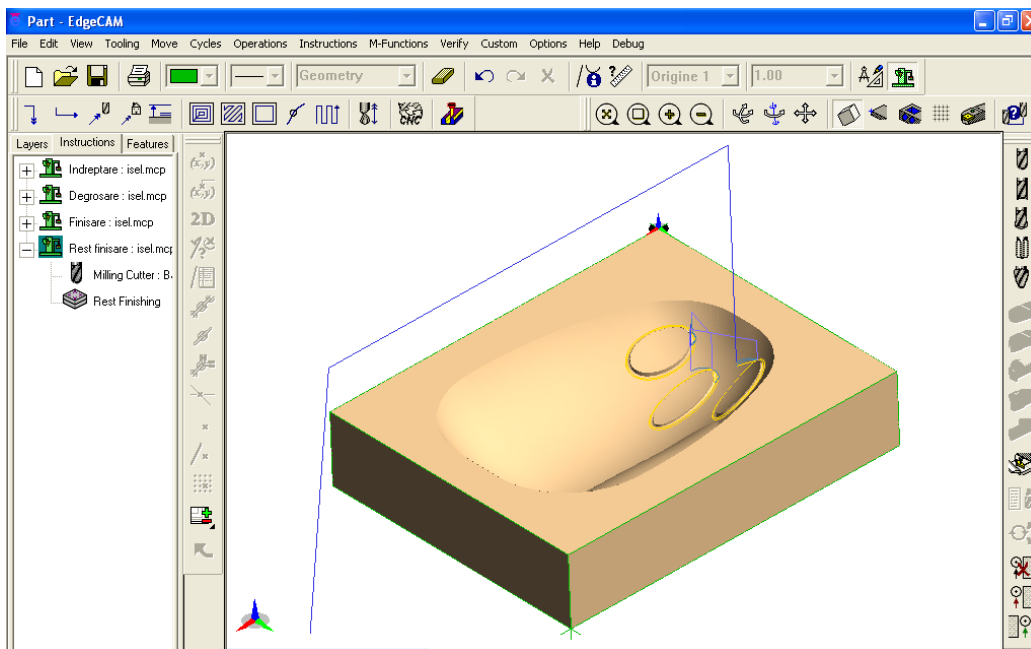


Figura 5.35 Traectoria sculei la rest finisare

f4). Simularea traiectoriei sculei la rest finisare

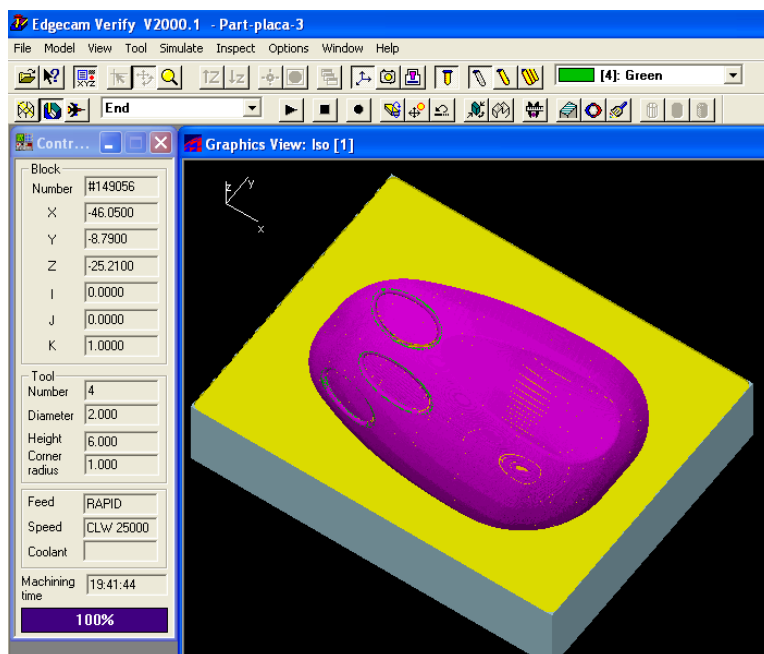


Figura 5.36 Simularea traiectoriei sculei la rest finisare

Prelucrarea celor doua cavități s-a realizat în lemn de tei tratat special. În final s-au obținut modelele fizice prezentate în figura 5.37.





Figura 5.37 Modelele fizice obținute în urma prelucrării

5.4 Concluzii

În cadrul acestui capitol s-au prezentat câteva noțiuni legate de implicațiile tehnicilor de RE și RP în fabricația matrițelor. În continuare s-a făcut o prezentare a comenzilor folosite pentru generarea părților active ale matrițelor de injectare sub mediul "Solid Works 2006" și s-a prezentat metodologia asupra unui studiu de caz. Tot în cadrul acestui studiu de caz s-a prezentat și posibilitatea de simulare a umplerii matriței în cazul injectării cu material polimeric.

Menționăm că această metodă poate fi aplicată numai în cazul "solidelor", autorul dorind în acest fel să "pregătească terenul" pentru partea experimentală din următorul capitol unde fișierele folosite nu mai sunt de tipul "solidelor" ci sub format STL.

În cea de-a doua parte autorul a încercat să prezinte cât mai detaliat, pe același studiu de caz, etapele ce trebuie parcurse în generarea părții de CAM (Computer Aided Manufacturing) cu referire la toate strategiile de prelucrare care de regulă se regăsesc în mai toate softurile de proiectare tehnologică.

6. STUDIUL UNOR MODELE DE AMELIORARE A PRODUSELOR REZULTATE DIN PROCESELE DE INJECTARE

6.1. Metodologia de realizare a modelelor geometrice pornind de la piese scanate

Piesele pe care s-au realizat încercările sunt prezentate în figura 6.1. S-a încercat alegerea unor piese cu un grad relativ ridicat de complexitate, care să acopere majoritatea elementelor geometrice. Fiind vorba despre scanare prin contact, pentru a evita alunecarea acului de scanat pe suprafețele pieselor polimerice, în prealabil scanării s-a realizat o vopsire a suprafețelor acestora.

Menționăm că toate piesele au necesitat maxim două prinderi, excepție făcând **peria** care datorită lungimii prea mari a reclamat folosirea a patru prinderi.

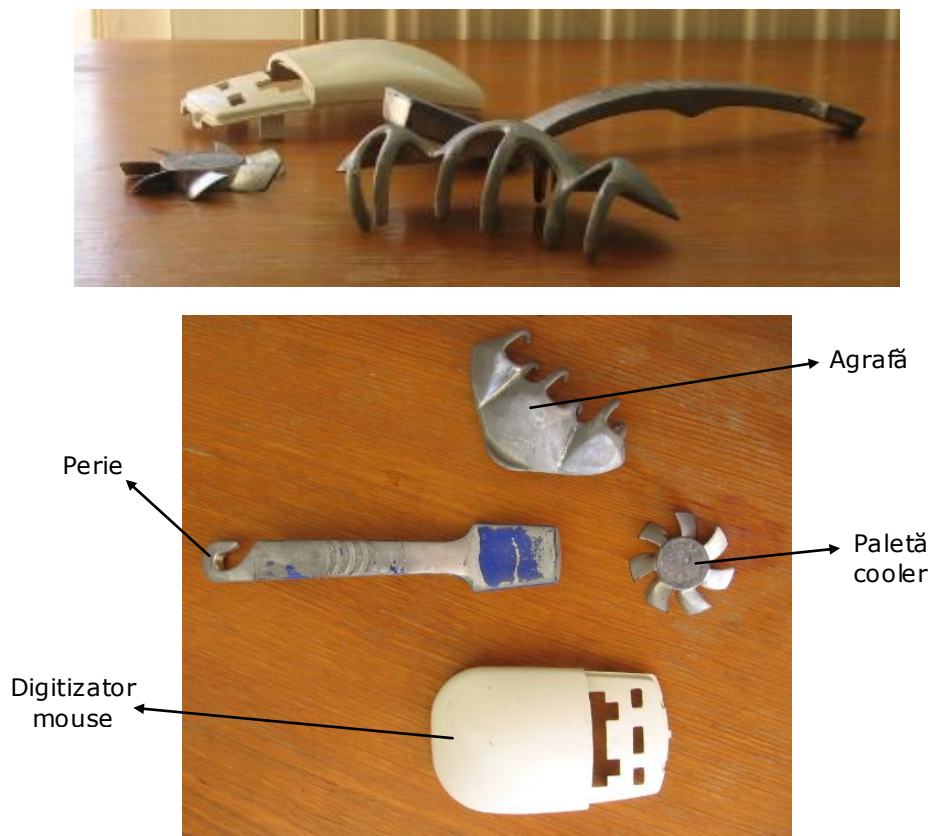


Figura 6.1 Piesele scanate

6.1.1 Studiu de caz pentru scanarea piesei „digitizator mouse”

Piesa ce se dorește a fi obținută în urma scanării este un digitizator de mouse. Se vor scana atât exteriorul cât și interiorul acestuia, urmând ca apoi să se realizeze îmbinarea entităților rezultate.

Deoarece metodologia este aceeași pentru toate piesele, ne-am propus să prezentăm în continuare metodologia de obținere a modelului geometric pomind de la un model fizic pentru un „digitizator de mouse” (fig. 6.2).

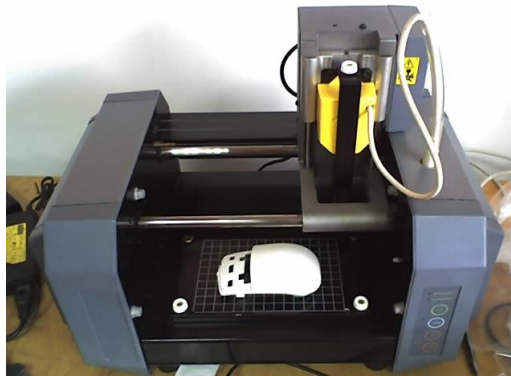


Figura 6.2 Instalarea digitizatorului de mouse pe mașina de scanat

Parametrii (aria de scanare și pasul scanării) procesului de scanare sunt prezentați în figura de mai jos.

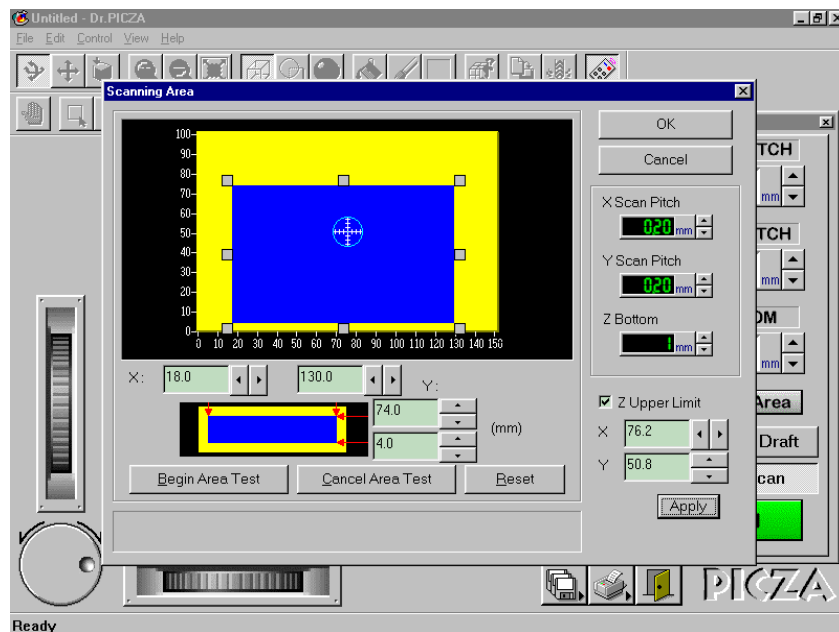


Figura 6.3 Setarea parametrilor de lucru

Fișierul scanat (norul de puncte) poate fi salvat sub format IGES sau STL. Exportul fișierului în format IGES conduce la creșterea mărimii acestuia (cca. 60 MB) făcând practic imposibil lucrul cu el în continuare. De aceea vom salva norul de puncte în format STL (cca. 1,5 MB). În urma scanării se observă apariția unor neregularități pe piesă și în jurul ei, probabil datorită necurățirii acului de scanat (fig.6.4). Timpul de scanare este de cca. 8 ore.

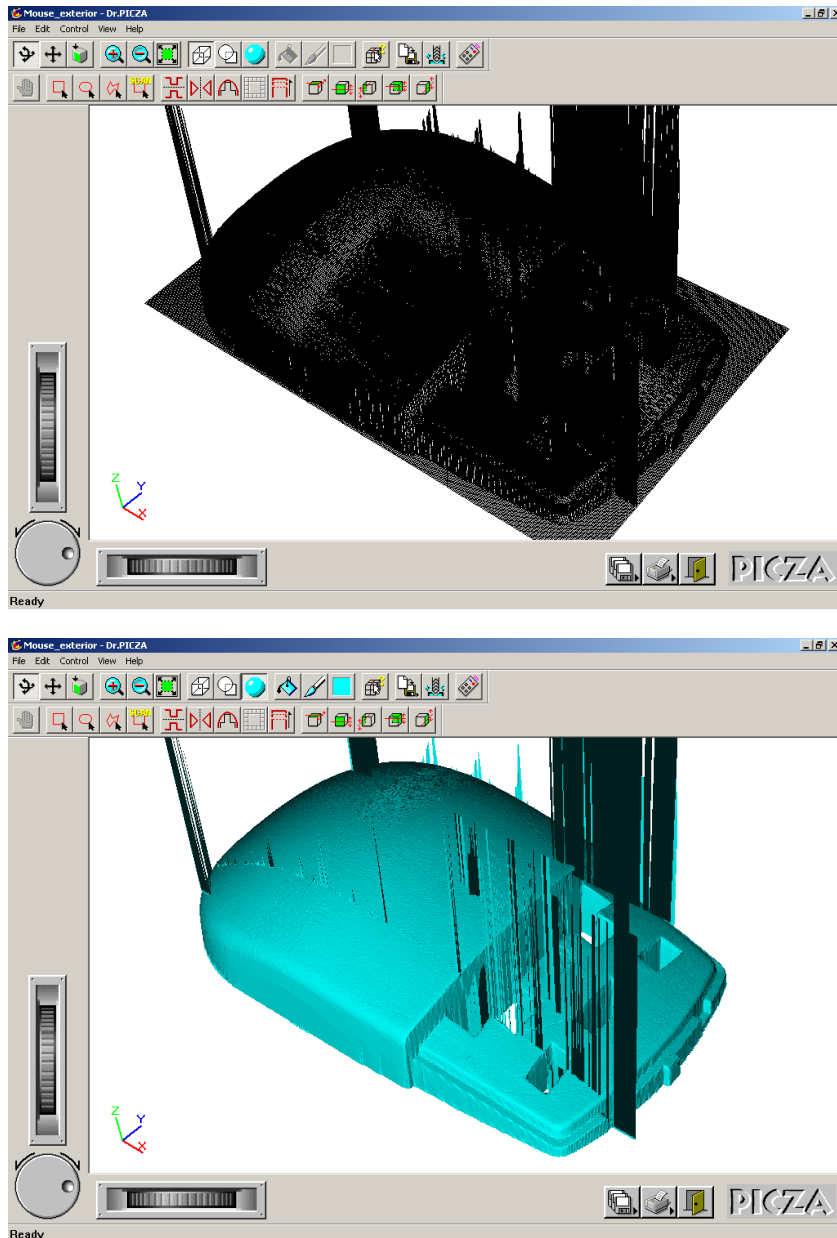


Figura 6.4 Fișierul STL obținut în urma scanării

Așa cum am spus anterior fișierul se salvează sub format STL, format specific tehnicilor de prototipare rapidă. Un fișier STL este o simplă rețea de triunghiuri înfășurată în jurul unui model CAD, a fost definit de sistemele 3D în 1980. Numele de STL este derivat din procesul de prototipare rapidă, Stereolitografia, cunoscută de asemenea ca abrevierea de la Limbaj Standard de Triangulare. Acest format foarte simplu, a devenit un standard industrial pentru sectorul Prototipării Rapide. În mod virtual, acum toate sistemele CAD moderne includ o producție STL sau de prototipare rapidă ca trăsătură standard. Un fișier STL are următoarele caracteristici:

- rețeaua cu triunghiuri de mărimi aproximativ 0,02mm până la 0,05mm va produce un fișier STL de calitate bună;
- fișierele STL sunt de preferință salvate în formatul Binar și nu în modelul Ascii;
- dacă se folosește un pachet de modelare CAD solid pentru a crea un model 3D, sunt șanse mai puține de a avea erori în fișierul STL;
- în general, fișierul STL nu are nici o UNITATE atașată lui;
- anumite sisteme CAD vor genera mesaje de eroare în timpul conversiei STL arătând că anumite geometrii ale piesei sunt în afara cvadrantului x, y, z, sau au valori negative. Aceste mesaje de atenționare pot fi ignorate.[ARP 07]

Fișierul STL va fi importat în softul 3DReshaper, importul făcându-se prin „explodarea” fișierului STL. În figura de mai jos (fig.6.5) se observa că unele neregularități (mesh-uri) pot fi înlăturate direct prin ștergere din meniu.

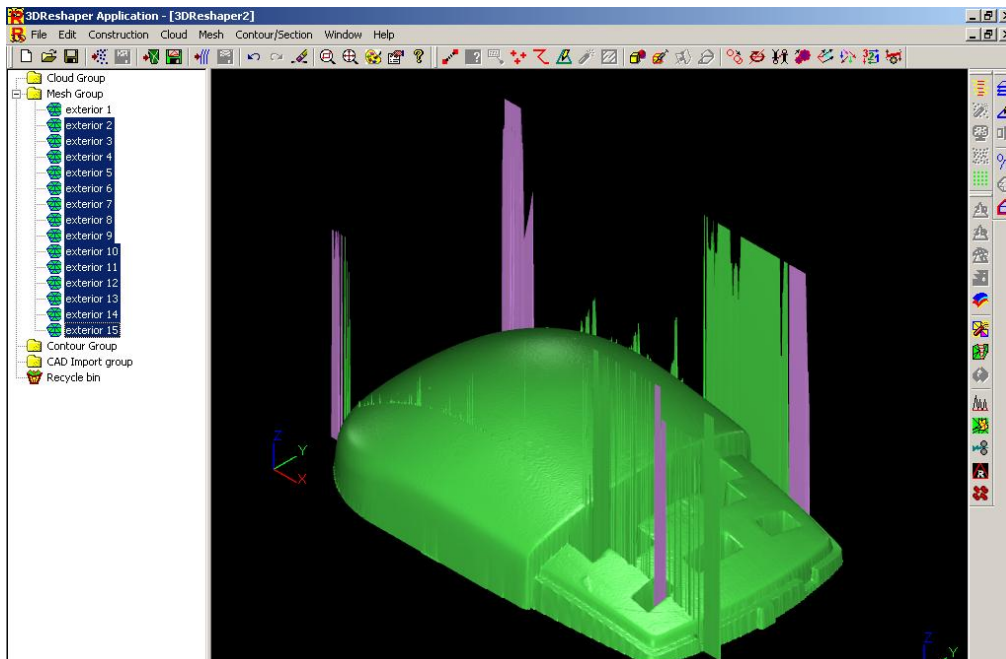


Figura 6.5 Eliminarea neregularităților

Uzând de diferitele funcții ale softului în final vom obține piesa din figura 6.6.

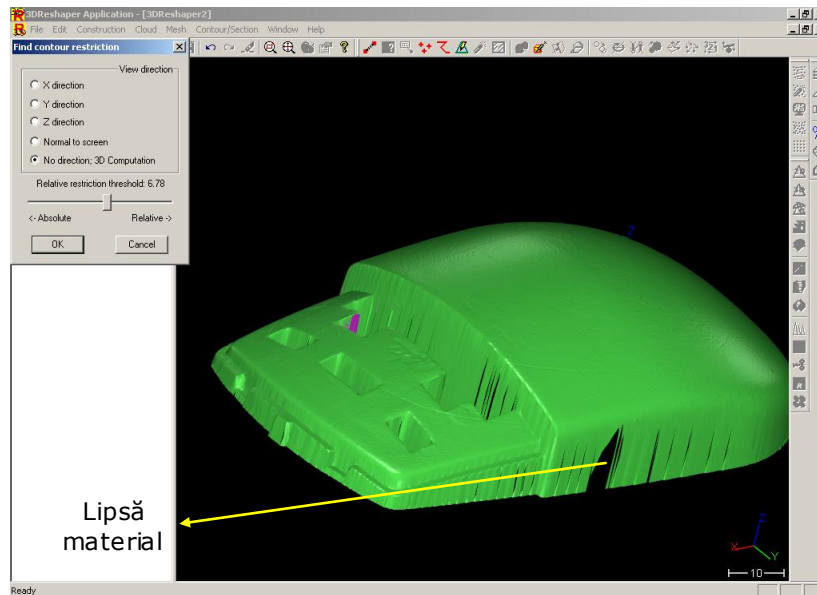


Figura 6.6 Piesa rezultată în urma prelucrării

Din figura 6.6 se observă că piesa este afectată din punct de vedere al **calității** în urma aplicării acestor funcții. Cu toate acestea nu ne facem probleme deoarece în urma îmbinării (intersectării) celor două entități (partea exterioară și partea interioară) acest neajuns va dispărea.

Se scanează și cealaltă parte a digitizatorului (interiorul piesei) și se trece la importarea pe rând a celor două entități în softul RapidForm.

Importarea primei entități și poziționarea ei față de origine (fig.6.7):

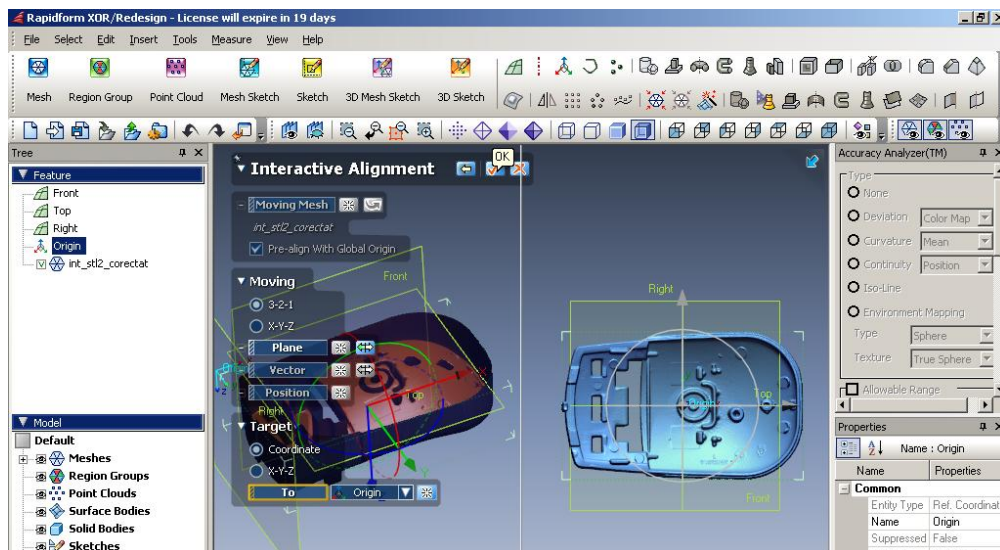


Figura 6.7 Importarea și poziționarea primei entități

Importarea celei de a 2 a entităţi :

Aşa cum se vede din figura de mai jos alinierea celor două entităţi nu se face automat, fiind necesare anumite mişcări de translaţie, respectiv de rotaţie pentru realizarea acestui lucru.

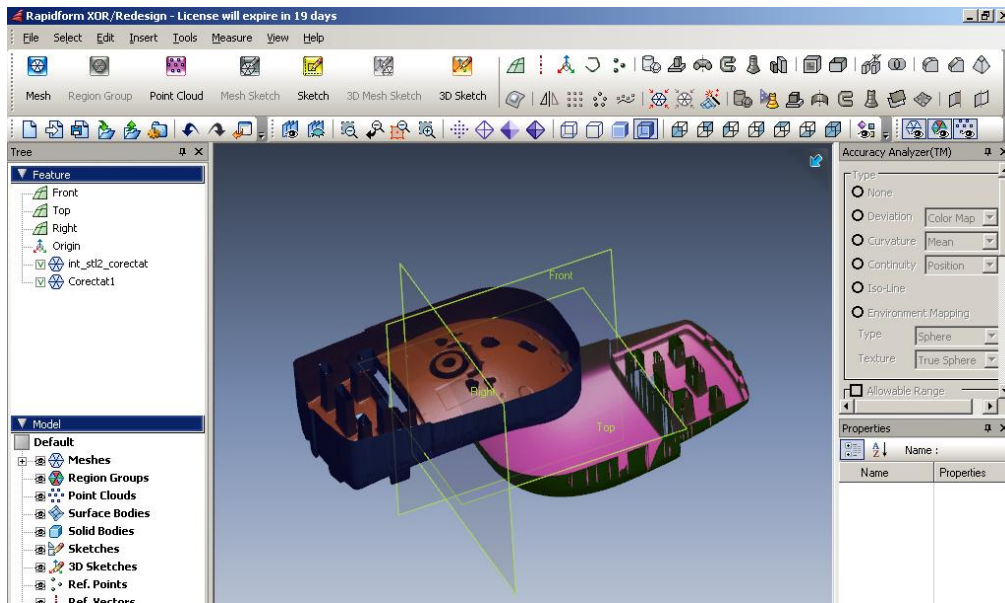


Figura 6.8 Importarea celei de a doua entităţi

Poziţionarea celei de a doua entităţi faţă de aceeaşi origine a sistemului:

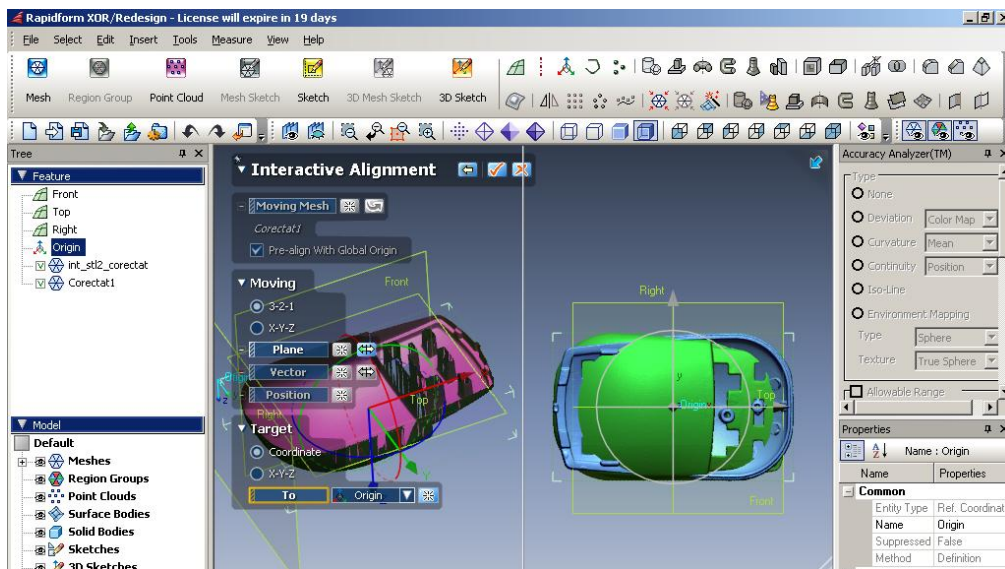


Figura 6.9 Poziţionarea celei de a doua entităţi faţă de originea sistemului

Din figura 6.9 se observă ca cele 2 entități nu sunt aliniate. Pentru a le alinia, este necesara realizarea unei rotații a celei de a doua entități pe axele X și pe Z (fig.6.10).

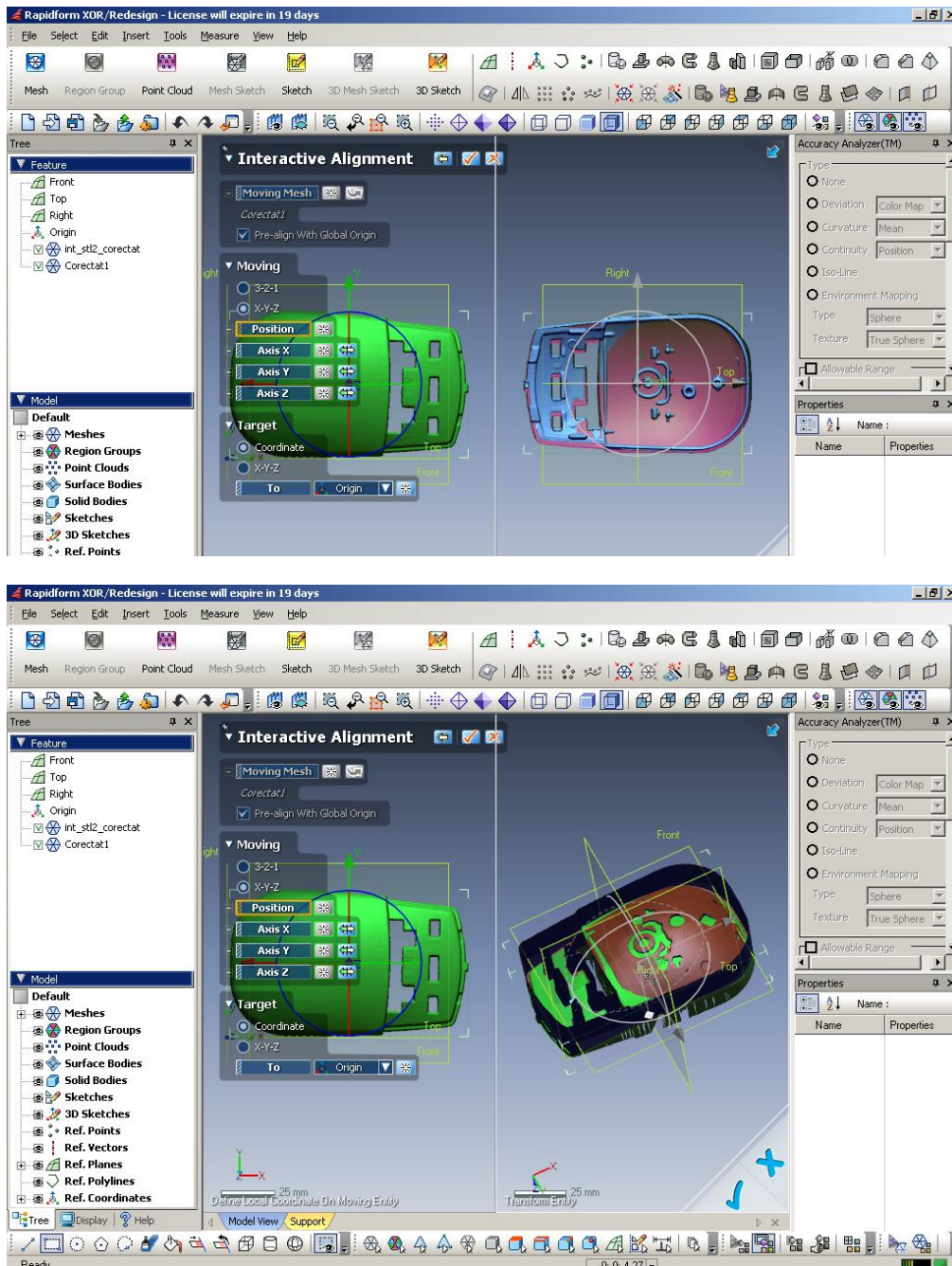


Figura 6.10 Rotația celei de a doua entități

122 St. unor modele de ameliorare a prod. rezultate. din procesele de injectare - 6

Zona cu roșu ne indică faptul că cele două entități se întrepătrund prea mult, deci este necesară și o translație pe axa Z.

Odată terminată alinierea, se realizează **operația booleană**, de intersectare, modelul obținut fiind prezentat în figura 6.11:

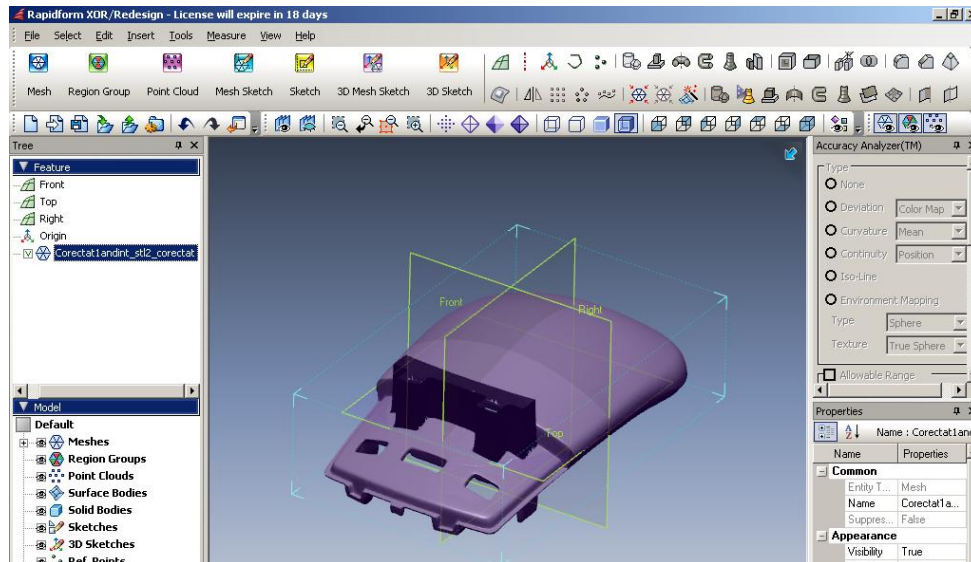


Figura 6.11 Modelul geometric obținut în urma intersectării celor două entități

Precum se vede din figura 6.11 nu s-a reușit obținerea în totalitate a piesei. Căuza ar putea fi dată fie de lipsa de îndemânare a celui ce a realizat alinierea entităților, fie din cauza condițiilor de lucru (sistem de referință la scanare diferit pentru cele două entități).

Se revine în modul "Mesh" și se trece la **înlăturarea surplusului de material** (din interior – contur galben – fig. 6.12):

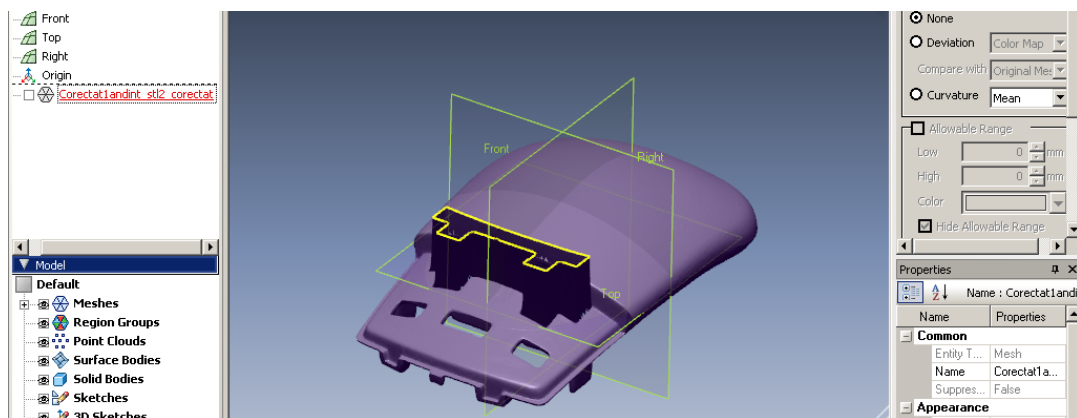


Figura 6.12 Inițierea înlăturării surplusului de material

Pentru început se selectează tot conturul, apoi pe măsură ce ștergem din material acesta se fragmentează astfel că la un moment dat vom avea mai multe porțiuni ce trebuiesc șterse separat (fig.6.13):

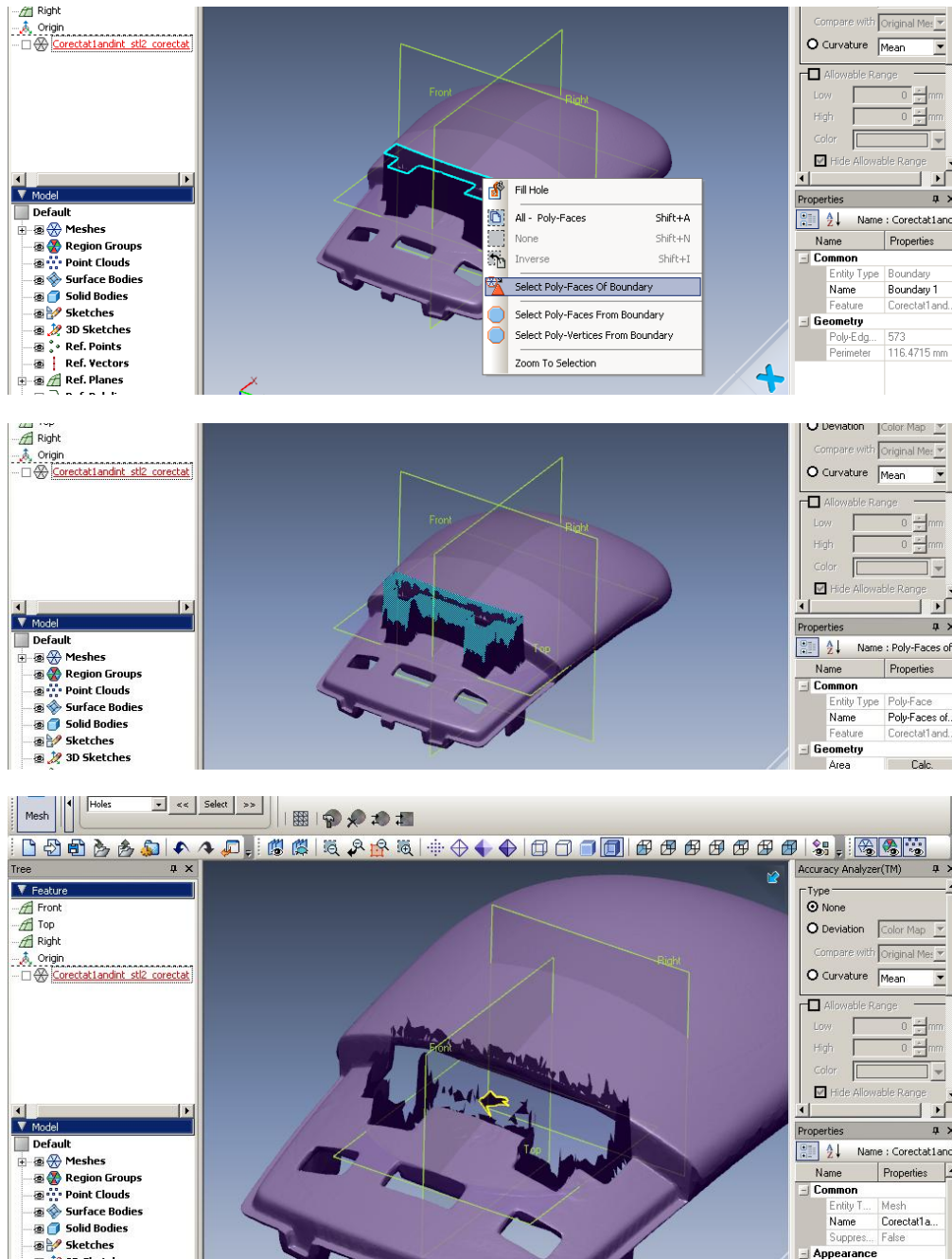


Figura 6.13 Înlăturarea surplusului de material

Următoarea etapă constă în "**cosmetizarea**" piesei. În urma scanării piesei, pe modelul scanat apar și urmele lăuate de extractoare, numărul de identificare al piesei, precum și alte defecte ce au survenit în timpul procesului de injectare (fig. 6.14). În această etapă **calitatea piesei** poate fi **îmbunătățită** prin eliminarea elementelor considerate neconforme.

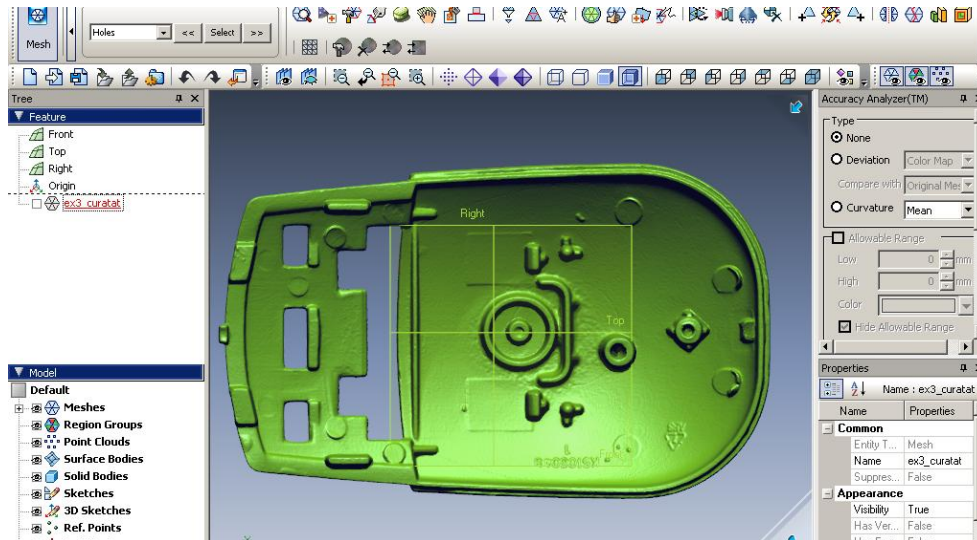


Figura 6.14 Elemente survenite pe piesă în urma injectării

Următoarea etapă constă în **alocarea grosimii de perete** (fig. 6.15). Se disting 2 metode: prin suprafața și prin volum. Noi suntem interesați de metoda prin volum. Softul ne permite și o analiză cu element finit, zonele întunecate reprezentând părțile "sensibile" pentru grosimea de perete aleasă.

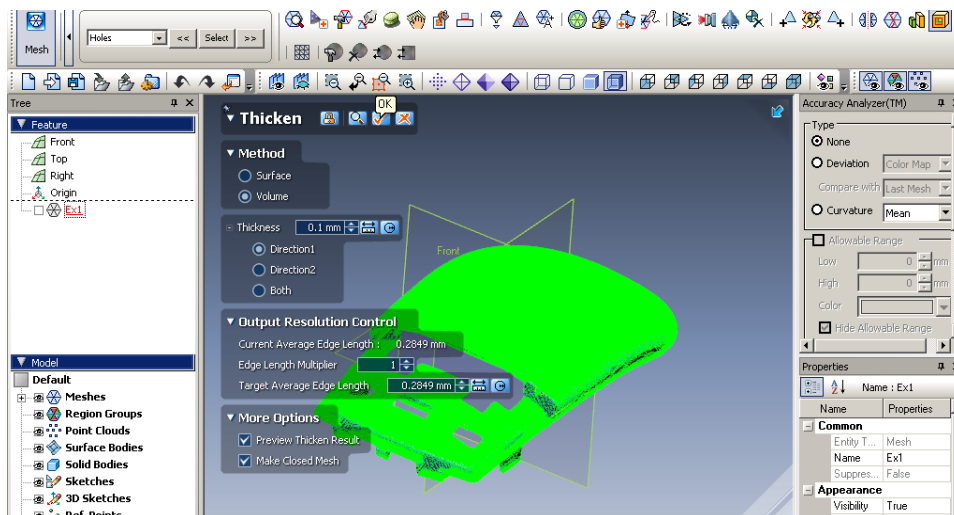


Figura 6.15 Alocarea grosimii de perete

În urma salvării modelului se observă că mărimea fișierului se apropie de 30 MB. Acest lucru duce la îngreunarea procesării în continuare a modelului geometric. De aceea se recurge la diminuarea numărului de poligoane (fațete) care construiesc modelul (fig.6.16).

Precizam că o dată cu reducerea numărului de poligoane scade și acuratețea (calitatea) modelului geometric.

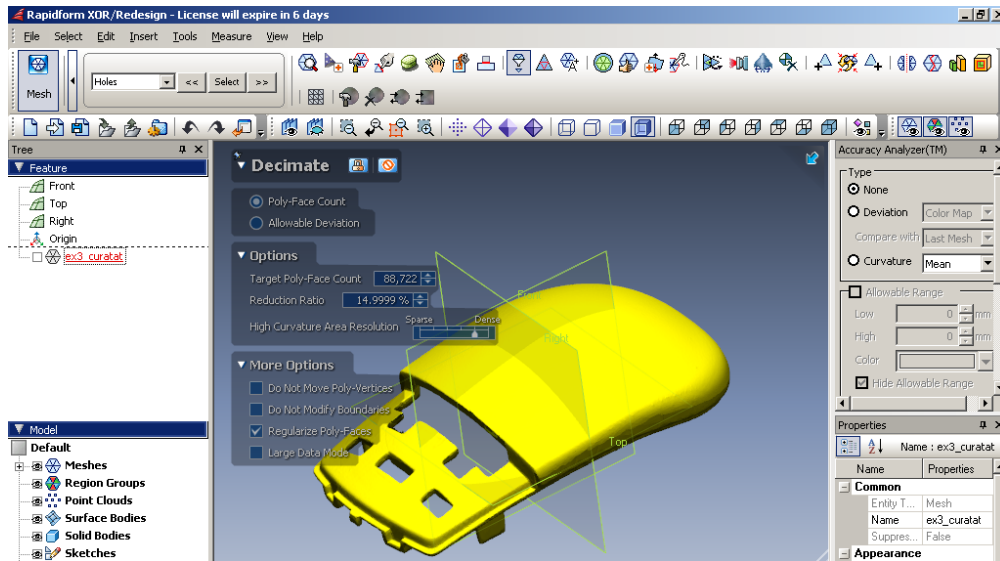
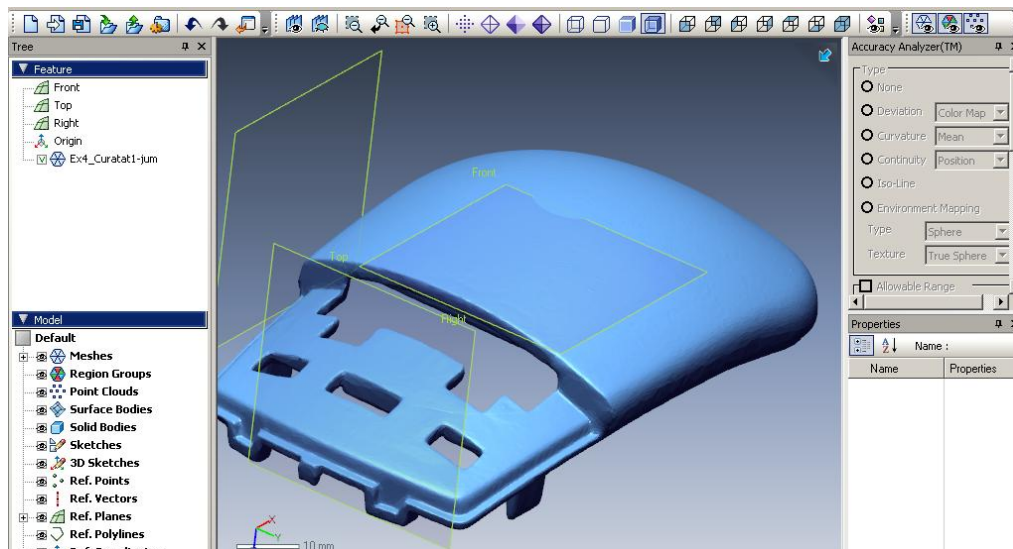


Figura 6.16 Reducerea numărului de poligoane

În urma modificărilor mărimea fișierului ajunge la 3.5 MB. În final (în urma folosirii diferitelor funcții ale softului) piesa va arăta ca în figura 6.17.



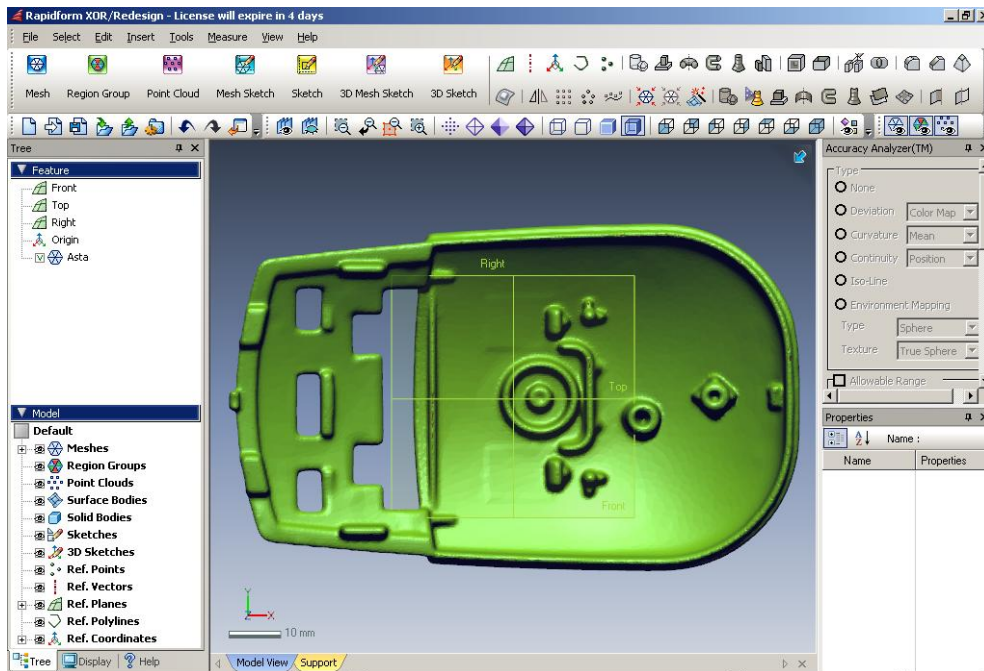


Figura 6.17 Modelul geometric obținut în urma "cosmetizării"

Anumite părți ale digitizatorului de mouse (sistem de închidere-fixare) nu au putut fi scanate datorită imposibilității pătrunderii acului de scanat în aceea zonă (fig. 6.18). Două soluții pot și folosite aici:

- fie se distruge piesa și se scanează apoi partea care interesează, urmând ca apoi să se reparcurgă itinerarul descris mai sus (în acest caz însă calitatea piesei „suferă” din punct de vedere al dimensiunilor, reperul fiind mic, prinderea și fixarea lui introduce erori însemnate, ceea ce conduce la alte valori decât cele reale);
- fie (în acest caz) când este vorba de o zonă simplă se reconstruiește acest element (fig.6.19), se salvează în format STL și se realizează intersectarea cu mouse-ul scanat.

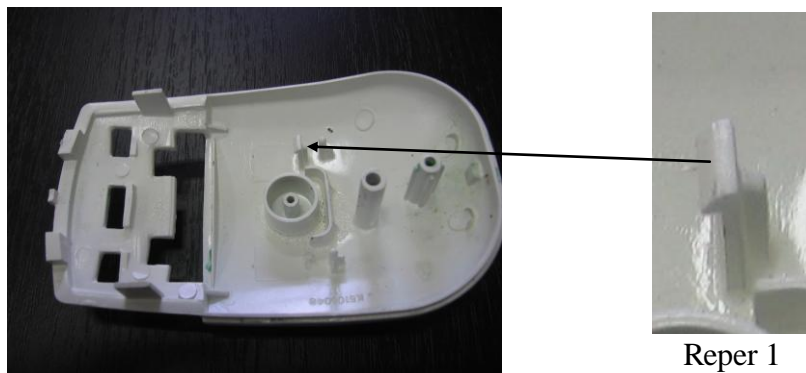


Figura 6.18 Reperul ce trebuie remodelat

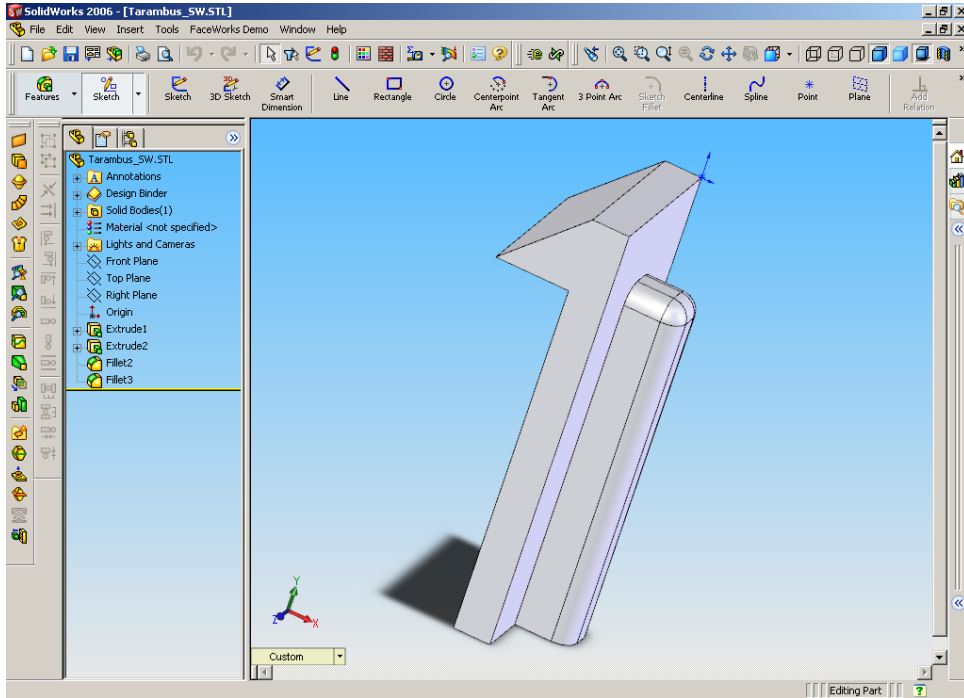


Figura 6.19 Remodelarea în mediul SolidWorks a reperului

Alinierea elementului se face prin suprapunere peste cel scanat deja, în scopul obținerii aceleiași poziționări ca și a celui precedent (fig.6.20).

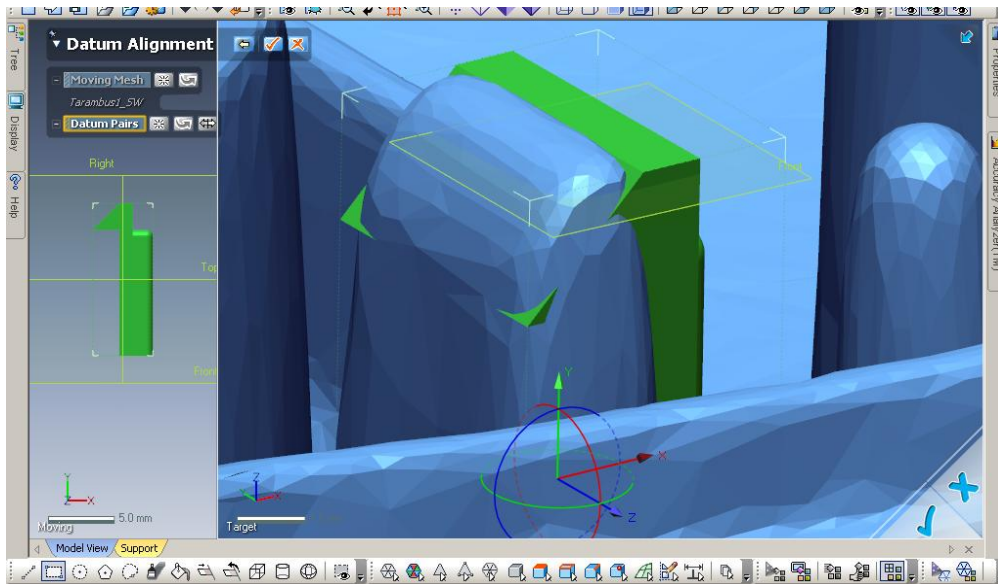


Figura 6.20 Poziționarea noului element

128 St. unor modele de ameliorare a prod. rezultate. din procesele de injectare - 6

Prin intrarea în modul "Mesh" se elimină partea care va fi înlocuită, se realizează îmbinarea cu modelul folosind comanda "Merge" și se obține astfel piesa finală (fig.6.21).

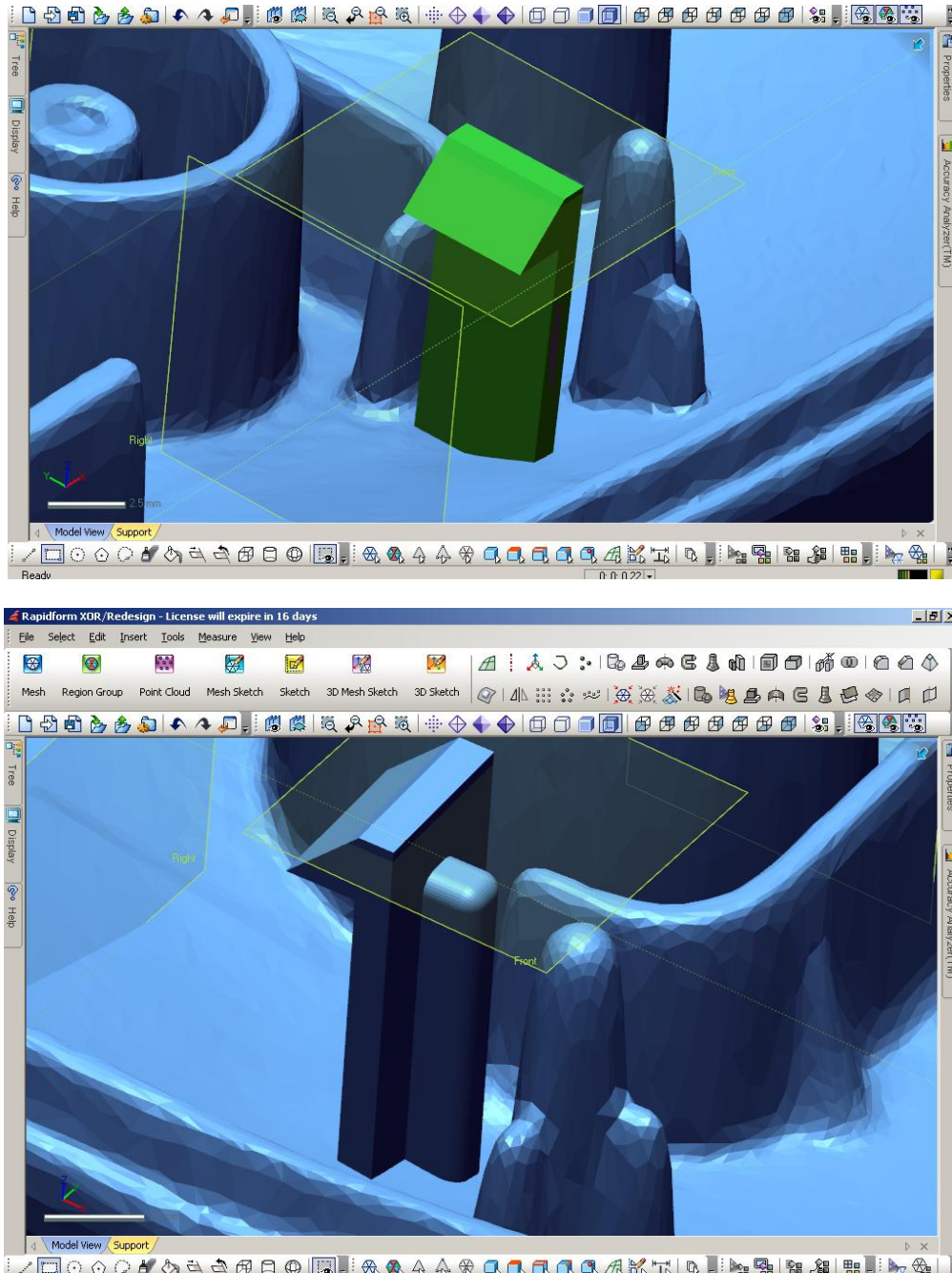
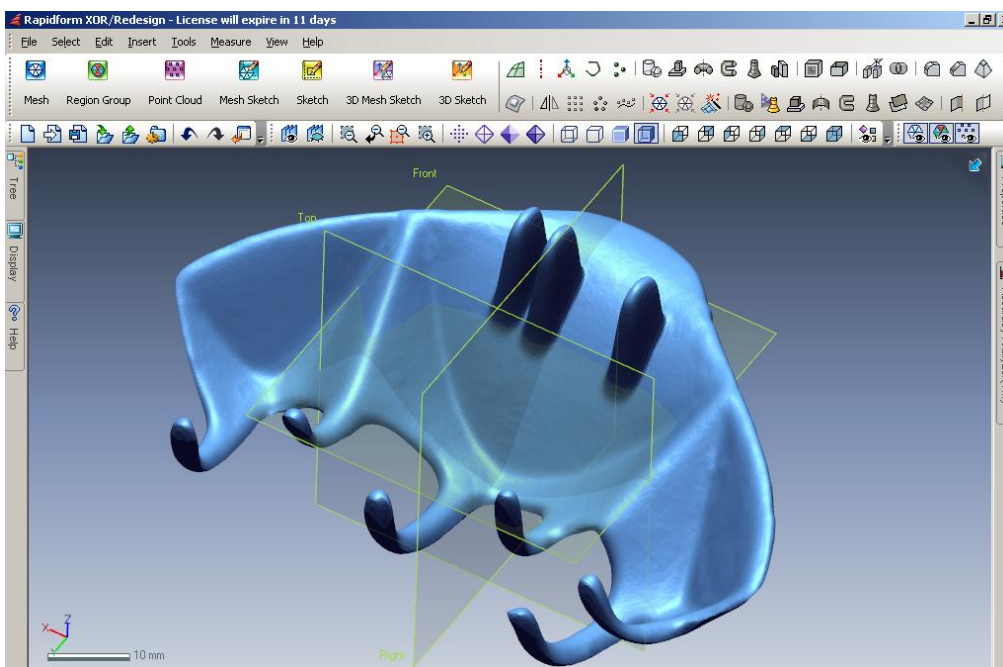
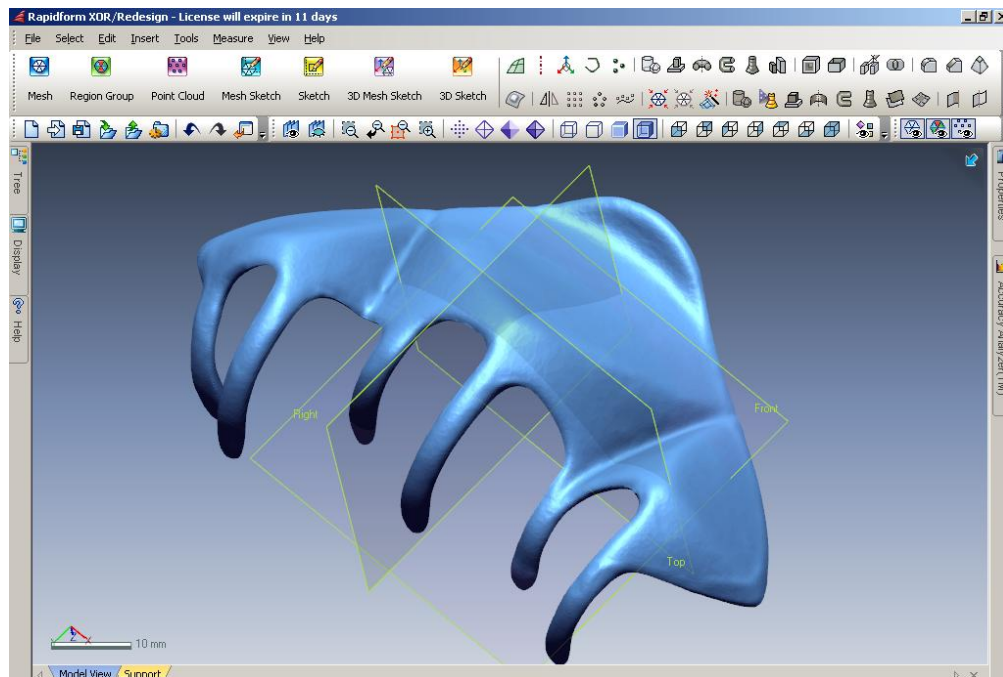
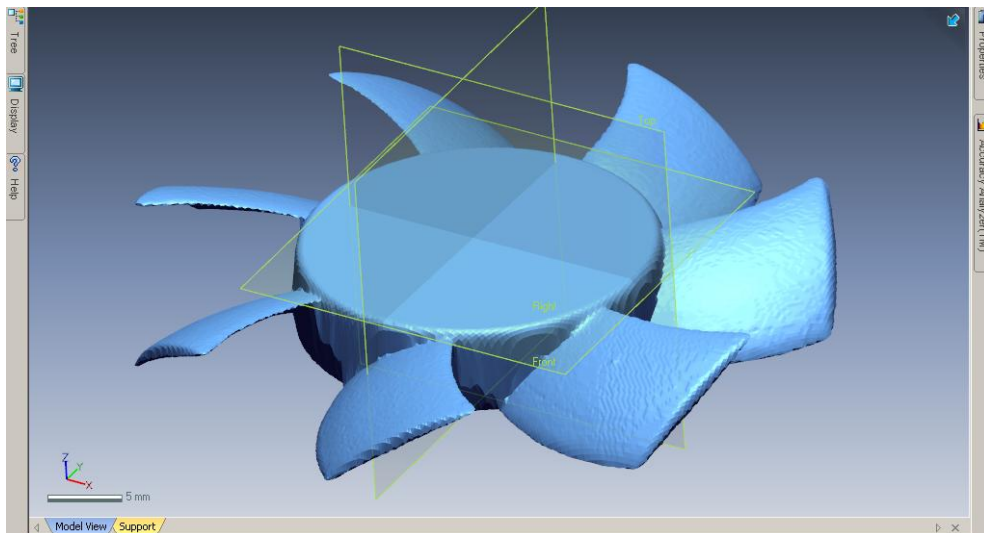
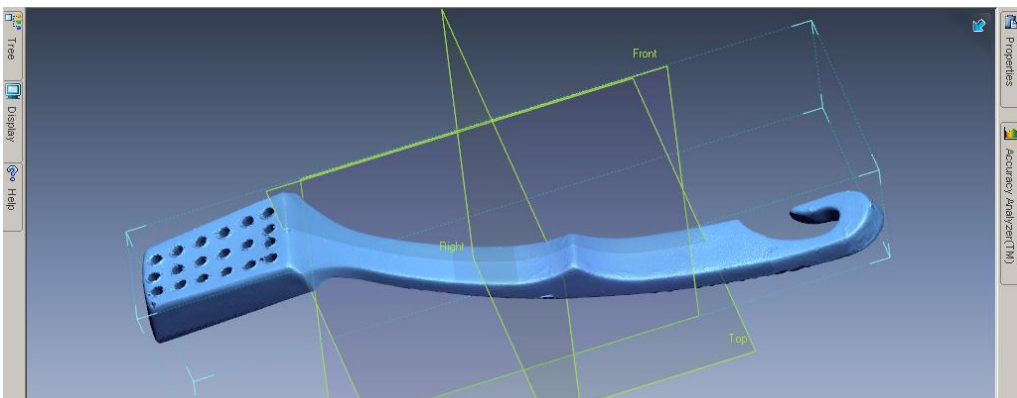
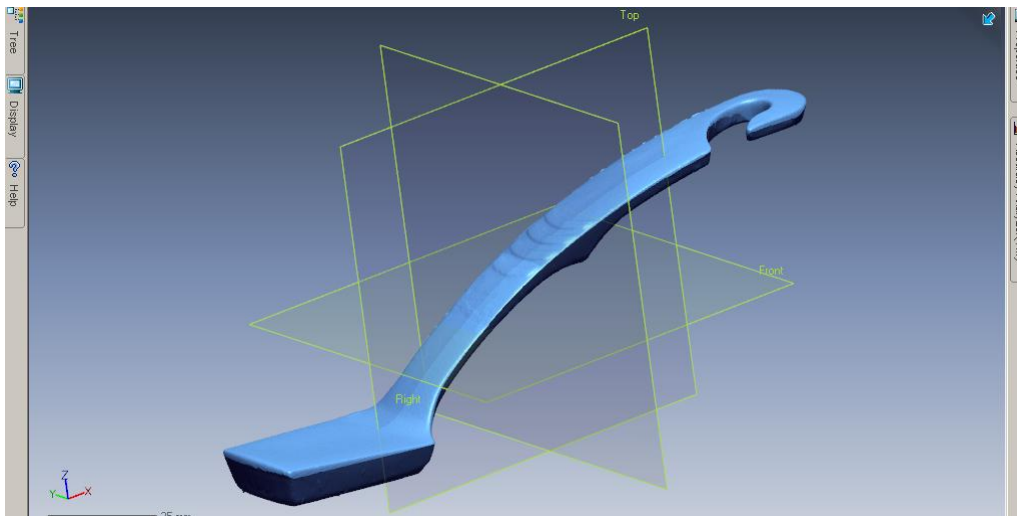


Figura 6.21 Piesa finală

Modelele geometrice ale celorlalte piese sunt prezentate în figura 6.22.



130 St. unor modele de ameliorare a prod. rezultate. din procesele de injectare - 6



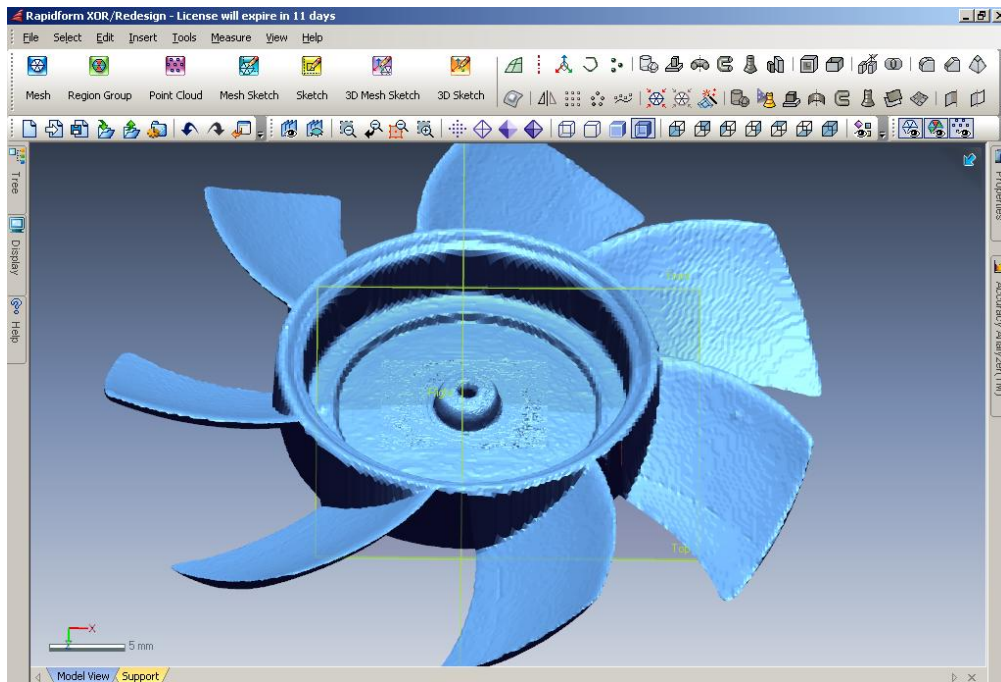
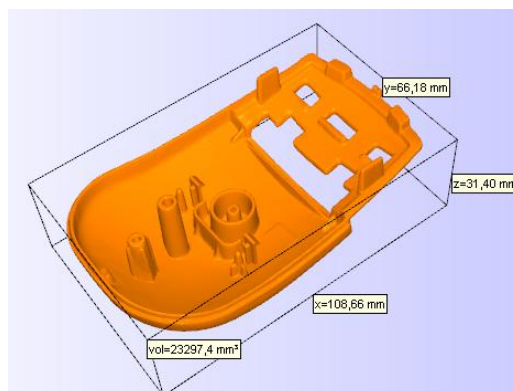


Figura 6.22 Modelele geometrice ale pieselor scanate

Fișierul astfel obținut poate fi folosit în realizarea părților active ale matriței (pastile) folosind softuri CAD tradiționale cum ar fi SolidWorks, PS Moldmaking, Catia, ProEngineering, etc., după ce în prealabil se realizează conversia fișierului STL în solid. Acest lucru ridică probleme destul de mari, sistemele de conversie care există sunt destul de scumpe, iar softurile mai sus amintite nu reușesc transpunerea într-o manieră corectă a fișierului STL în solid.

Pentru realizarea părților active ale matriței s-a apelat la un soft specific denumit I-Know Molding. Acest soft lucrează numai cu fișiere IGES și STL, realizarea elementelor active realizându-se în maxim 10 minute.

În figura de mai jos (fig.6.23) sunt prezentate cele două cavități obținute cu softul I-Know Molding.



132 St. unor modele de ameliorare a prod. rezultate. din procesele de injectare - 6

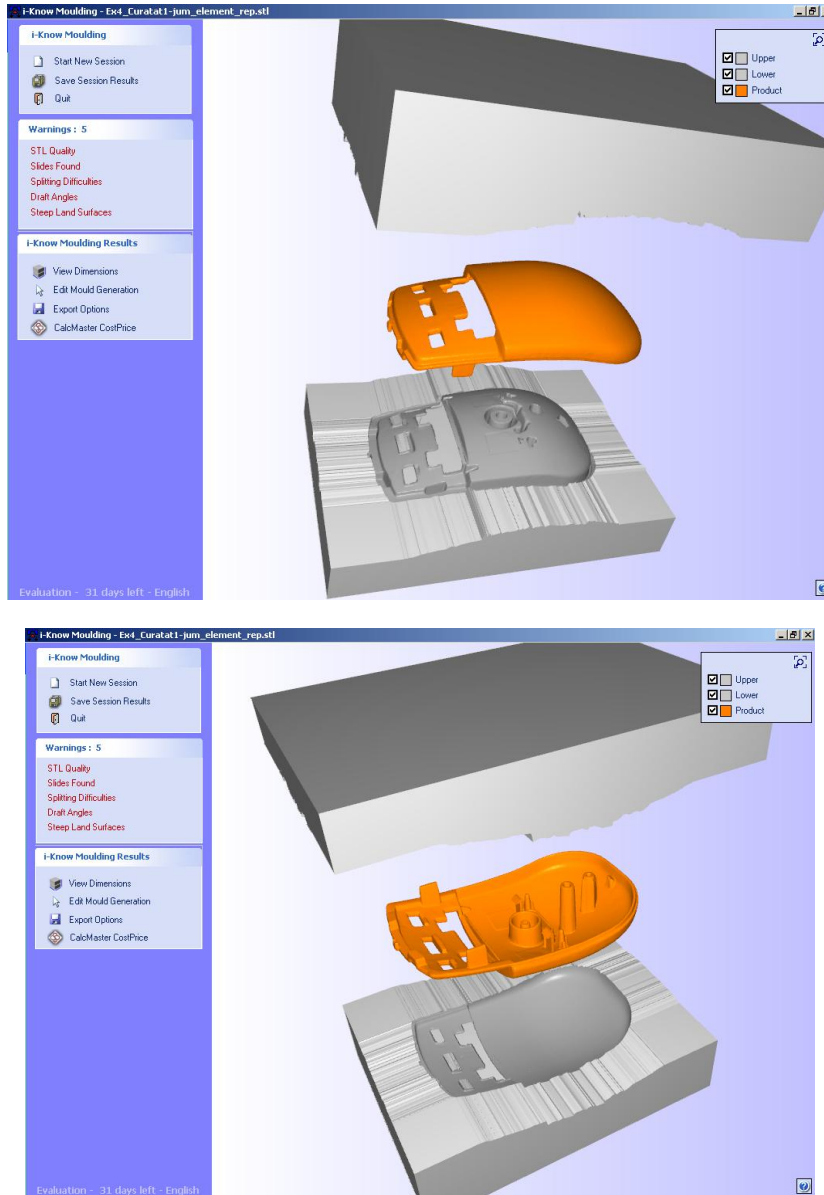


Figura 6.23 Realizarea părților active ale matriței

6.2 Controlul dimensional al modelelor geometrice obținute în urma scanării

Piesa 1 – Digitizator mouse

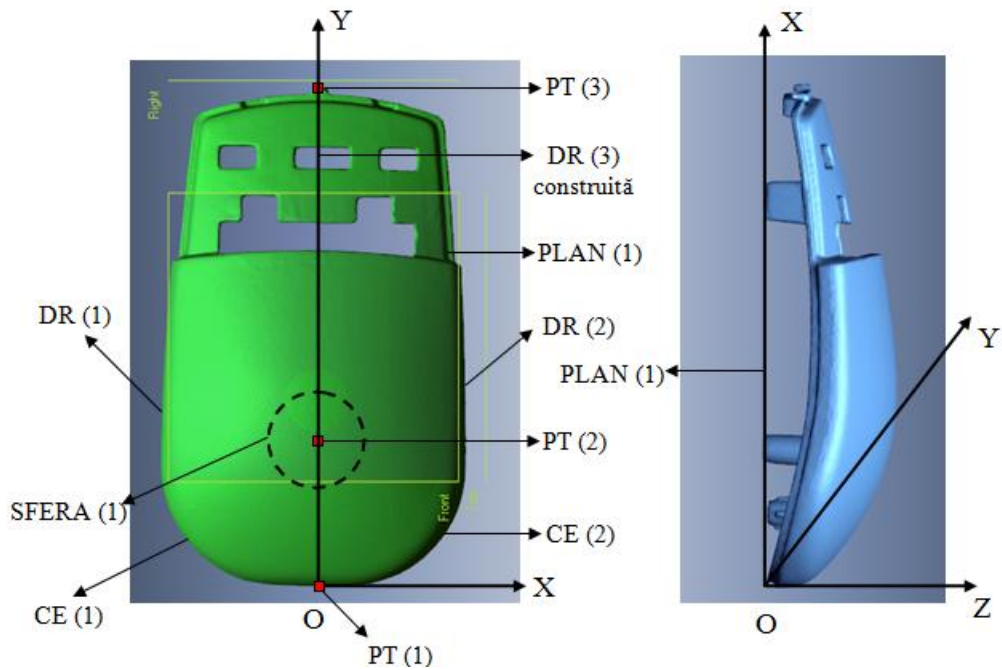


Figura 6.24 Elemente geometrice ajutătoare (digitizator)

$$\begin{aligned} \text{DIST (1)} &= \text{PT (1)} - \text{PT (3)}; \\ \text{DIST (2)} &= \text{CE (1)} - \text{CE (2)}; \\ \text{DIST (3)} &= \max [\text{CE (1)} - \text{CE (2)}]; \\ \text{DIST (4)} &= \text{PLAN (1)} - \text{PT (2)}; \\ \text{DIST (5)} &= \text{PT (3)} - \max \text{CE (1)}; \\ \text{DIST (6)} &= \text{PT (3)} - \max \text{CE (2)}; \\ \text{DIST (7)} &= \text{PLAN (1)} - \text{SFERA (1)}. \end{aligned}$$

Procedura constă în compararea dimensiunilor modelului geometric virtual obținut cu cele ale modelului fizic. Măsurătorile s-au realizat pe mașina de măsurat tridimensional TESA 3D (fig. 6.25). Procedura constă în instalarea piesei pe masa mașinii de măsurat fără deteriorarea piesei, și măsurarea unor elemente geometrice necesare pentru alinierea piesei și pentru determinarea sistemului de referință al acesteia (fig.6.24).

În Anexa 2 sunt prezentate datele obținute în urma măsurătorilor. În figura 6.26 sunt prezentate măsurătorile realizate pe modelul virtual obținut în urma scanării. Așa cum se observă diferența dintre valorile modelului fizic și cele ale modelului virtual sunt de maxim 0.3 mm (tabelul 6.1).



Figura 6.25 Măsurarea piesei (digitizator) cu mașina TESA 3D

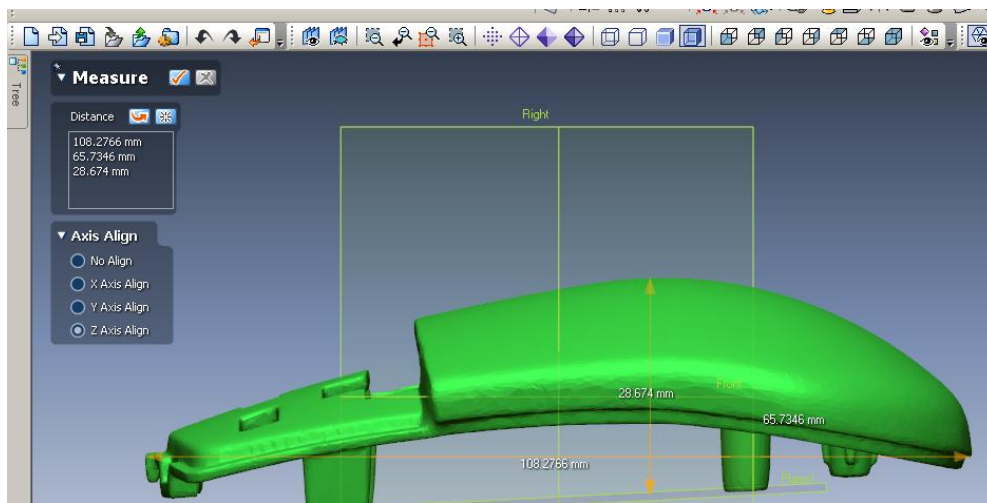
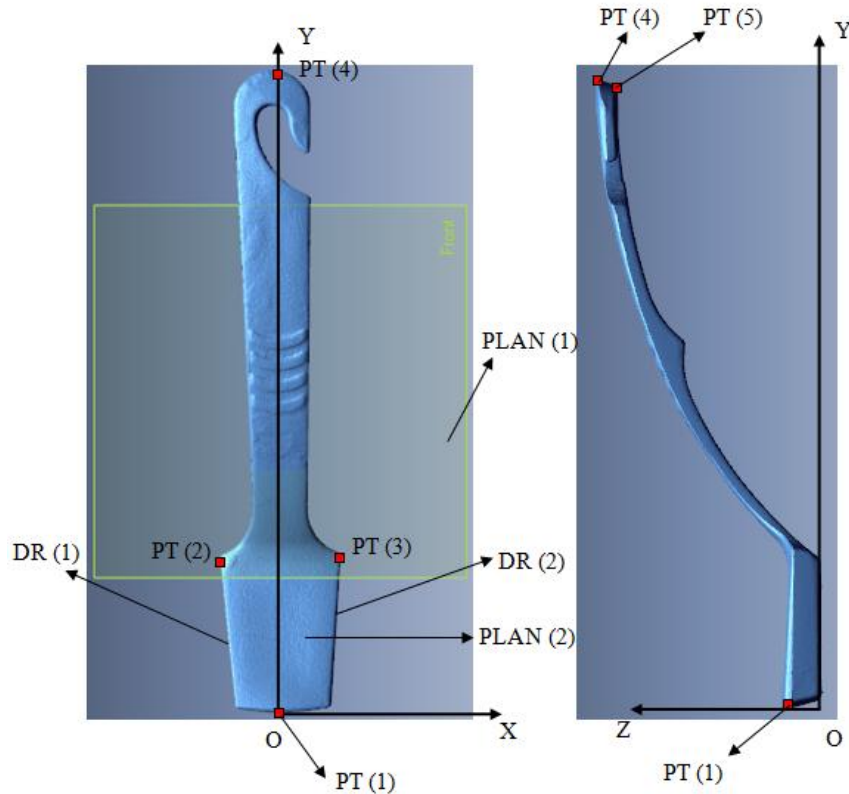


Figura 6.26 Dimensiunile modelului virtual (digitizator)

Tabelul 6.1 Comparații între valorile reale și cele virtuale (digitizator)

Axa	Valoare model fizic [mm]	Valoare model virtual [mm]
X	107.9875	108.2766
Y	65.6573	65.7346
Z	28.4314	28.674

Piesa 2 – Perie**Figura 6.27** Elemente geometrice ajutătoare (perie)

$$\begin{aligned} \text{DIST (1)} &= \text{PL (1)} - \text{PL (2)}; \\ \text{DIST (2)} &= \text{PT (4)} - \text{PL (1)}; \\ \text{DIST (3)} &= \text{PT (2)} - \text{PT (3)}; \\ \text{DIST (4)} &= \text{PT (1)} - \text{PT (4)}. \end{aligned}$$

Procedura este aceeași ca și în cazul anterior în anexa 3 fiind prezentate rezultatele măsurătorilor. În figura 6.28 este prezentată instalarea piesei pe mașina de măsurat, iar în figura 6.29 sunt prezentate măsurătorile realizate pe modelul virtual obținut în urma scanării. Așa cum se observă diferența dintre valorile modelului fizic și cele ale modelului virtual sunt de maxim 0.2 mm (tabelul 6.2).

Tabelul 6.2 Comparații între valorile reale și cele virtuale (perie)

Axa	Valoare model fizic [mm]	Valoare model virtual [mm]
X	163.9058	164.1213
Y	31.6631	31.4767
Z	9.5698	9.6038

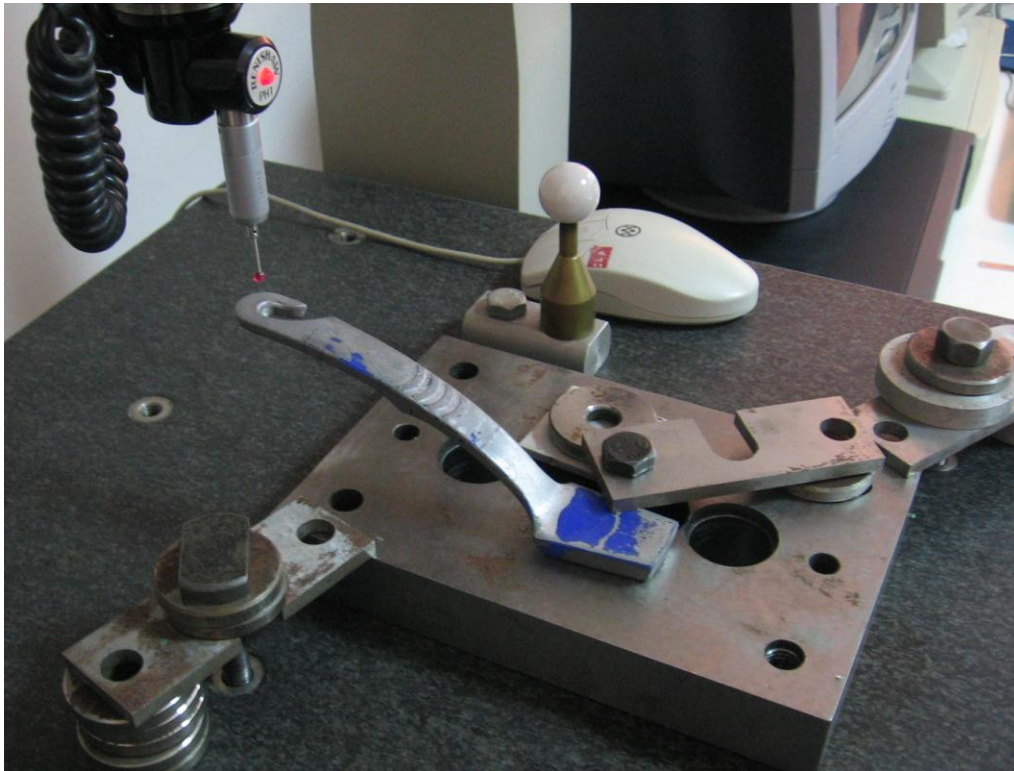


Figura 6.28 Măsurarea piesei (perie) cu mașina TESA 3D

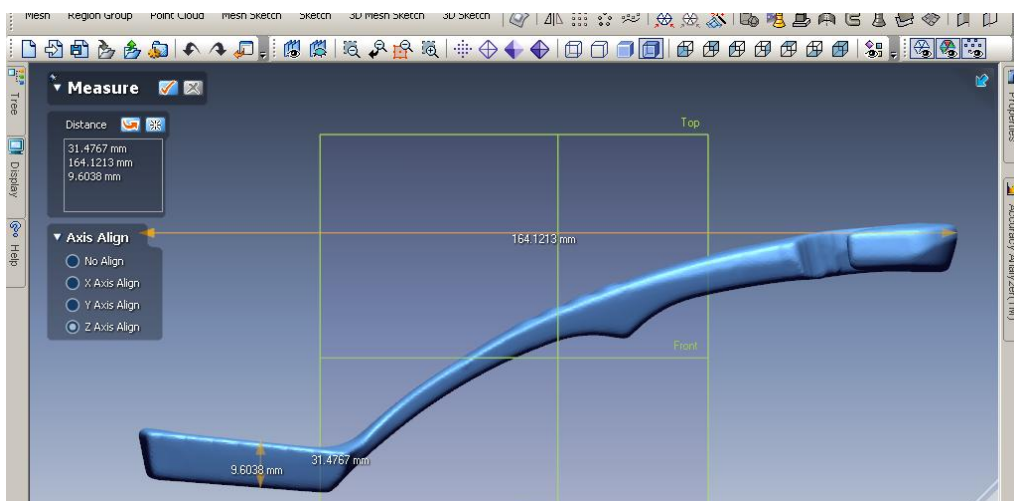
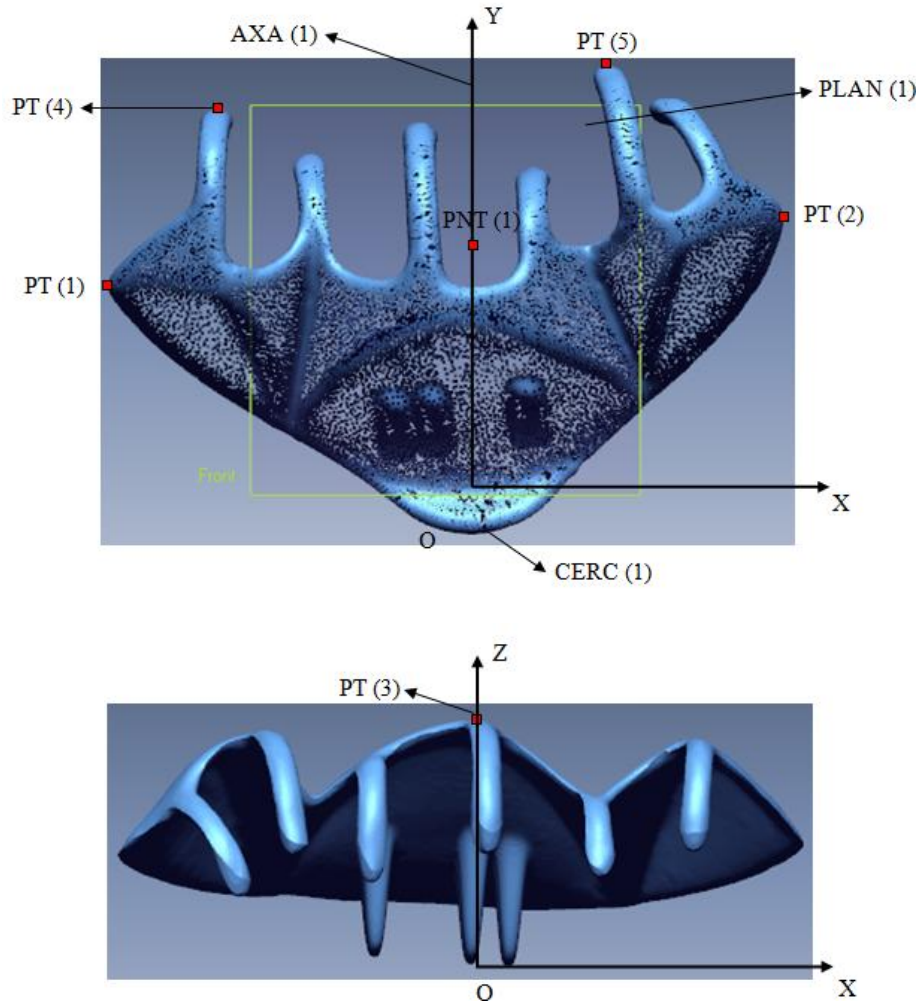


Figura 6.29 Dimensiunile modelului virtual (perie)

Piesa 3 – Agrafă păr**Figura 6.30** Elemente geometrice ajutătoare (perie)

$$\begin{aligned} \text{DIST (1)} &= \text{PT (1)} - \text{PT (2)}; \\ \text{DIST (2)} &= \text{PL (1)} - \text{PT (3)}; \\ \text{DIST (3)} &= \text{PT (4)} - \text{CE (1)}; \\ \text{DIST (4)} &= \text{PT (5)} - \text{CE (1)}. \end{aligned}$$

Procedura se repetă, în anexa 4 fiind prezentate rezultatele măsurătorilor. În figura 6.31 este prezentată instalarea piesei pe mașina de măsurat, iar în figura 6.32 sunt prezentate măsurătorile realizate pe modelul virtual obținut în urma scanării.

Așa cum se observă diferența dintre valorile modelului fizic și cele ale modelului virtual sunt sub valoarea de 0.2 mm (tabelul 6.3).

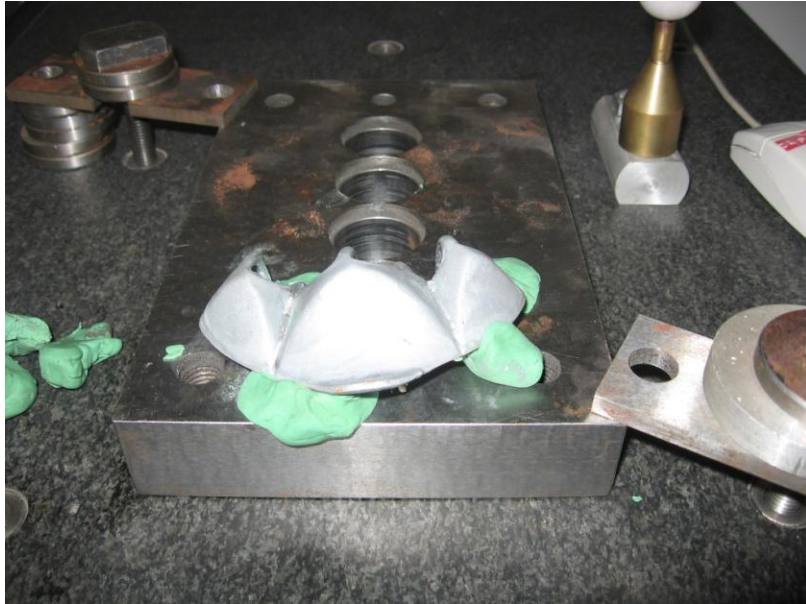


Figura 6.31 Măsurarea piesei (agrafă) cu mașina TESA 3D

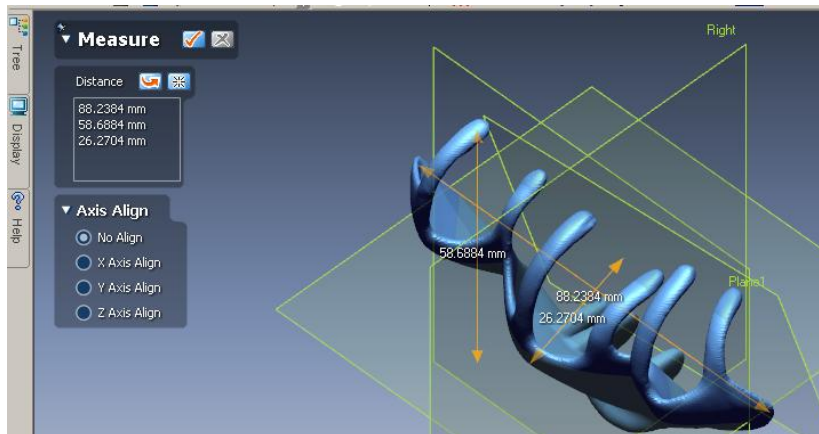
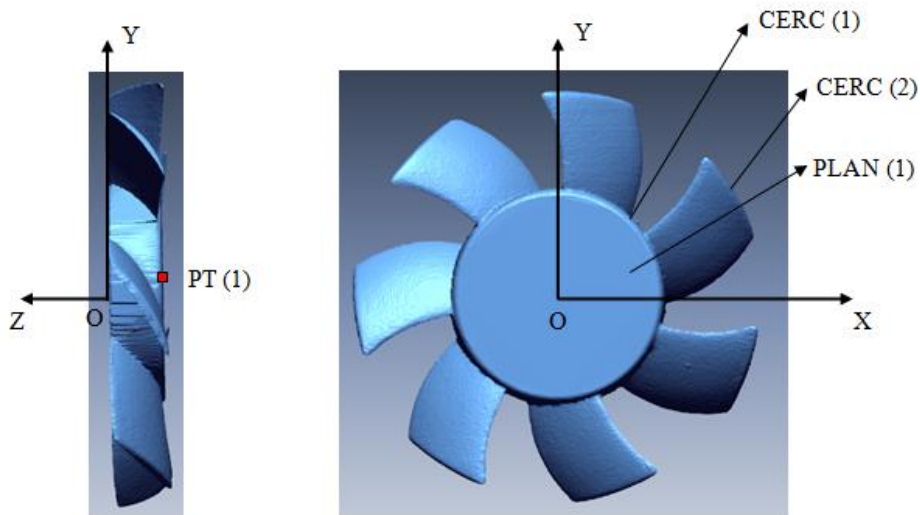


Figura 6.32 Dimensiunile modelului virtual (agrafă)

Tabelul 6.3 Comparații între valorile reale și cele virtuale (perie)

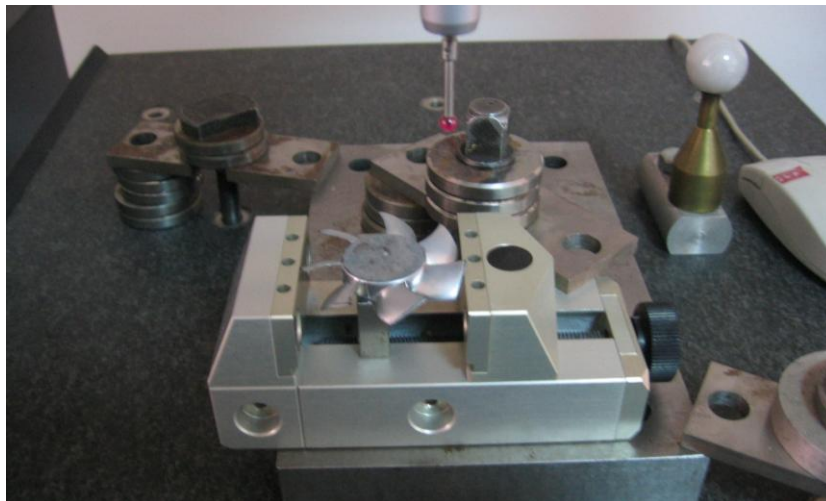
Axa	Valoare model fizic [mm]	Valoare model virtual [mm]
X	88.1375	88.2384
Y	$42.2944 + 16.3038 = 58.5982$	58.6884
Z	26.5495	26.2704

Piesa 4 – Ventilator cooler**Figura 6.33** Elemente geometrice ajutătoare (cooler)

$$\text{DIST (1)} = \text{PT (1)} - \text{PLAN (1)}.$$

Procedura se repetă în anexa 5 fiind prezentate rezultatele măsurătorilor. În figura 6.34 este prezentată instalarea piesei pe mașina de măsurat, iar în figura 6.35 sunt prezentate măsurătorile realizate pe modelul virtual obținut în urma scanării.

Așa cum se observă diferența dintre valorile modelului fizic și cele ale modelului virtual sunt sub valoarea de 0.2 mm (tabelul 6.4).

**Figura 6.34** Măsurarea piesei (cooler) cu mașina TESA 3D

140 St. unor modele de ameliorare a prod. rezultate. din procesele de injectare - 6

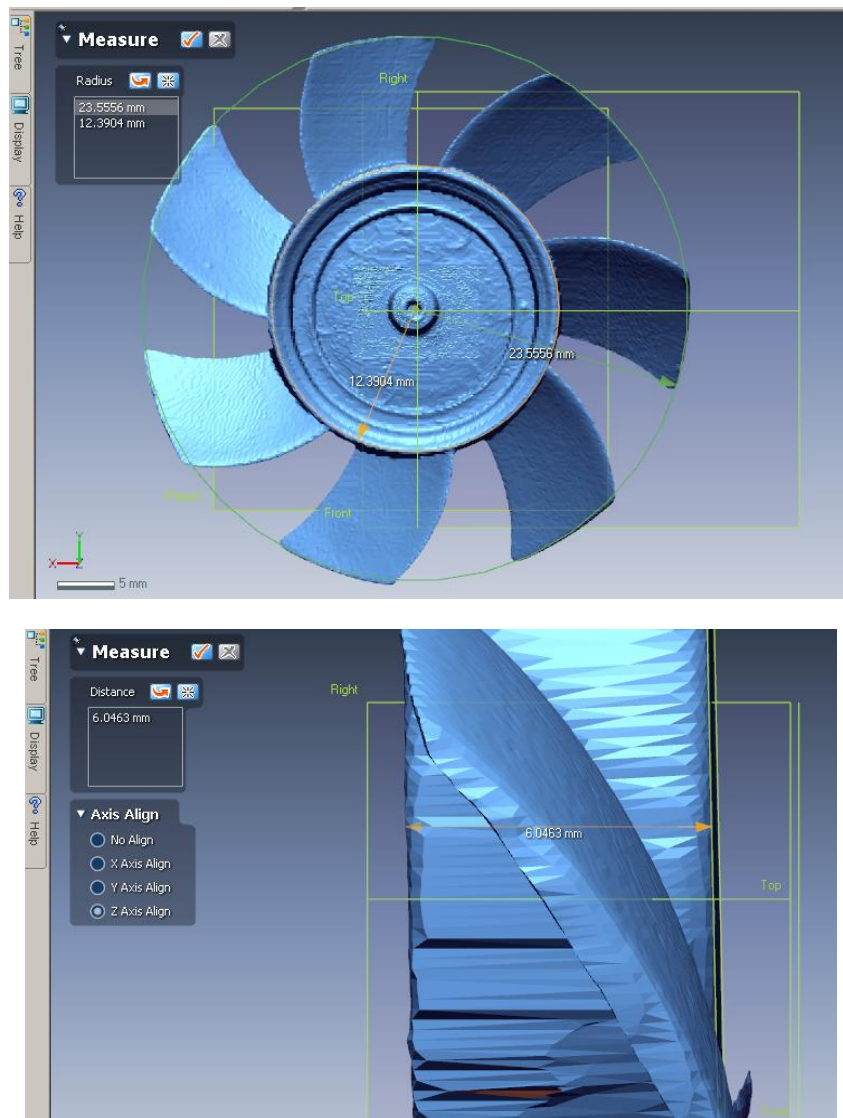


Figura 6.35 Dimensiunile modelului virtual (cooler)

Tabelul 6.4 Comparații între valorile reale și cele virtuale (cooler)

Elemente măsurate	Valoare model fizic [mm]	Valoare model virtual [mm]
CERC (1) - RA	12.1921	12.3904
CERC (2) - RA	23.3396	23.5556
DISTANȚA 1	6.0337	6.0463

6.3 Realizarea fizică prin prototipare a modelului digitizator mouse

Pașii ce trebuie urmați pentru obținerea modelului fizic au fost prezentați în cadrul capitolului IV. Fiind vorba de o piesă tip "shell" (coajă) modul de obținere este oarecum mai dificil. Pentru realizarea soluționării prinderii s-au construit niște punțițe în jurul piesei, având rolul de rigidizare și de menținere a piesei de rama în care va fi construită (fig.6.36).

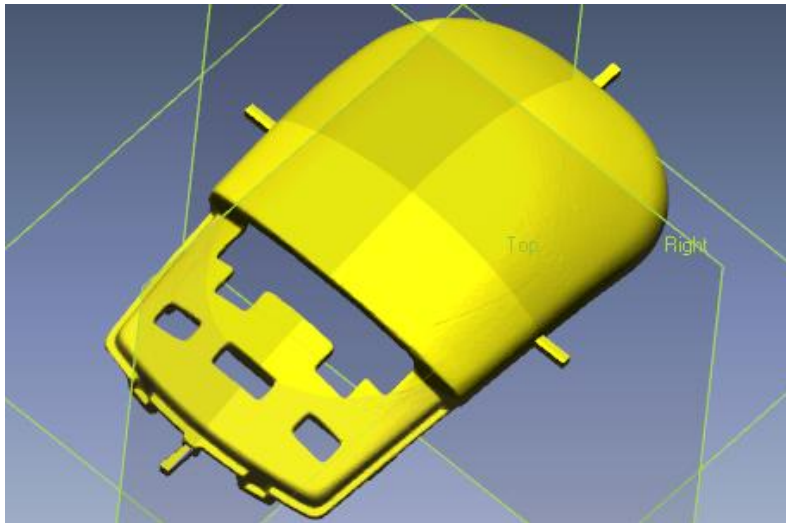


Figura 6.36 Construirea punțițelor

În figura 6.37 este prezentată piesa obținută în urma prototipării rapide prin frezare.





Figura 6.37 Digitizatorul de mouse obținut în urma frezării

6.4 Concluzii

În cadrul acestui capitol s-a prezentat metodologia de obținere a modelelor geometrice virtuale pentru patru piese de complexitate ridicată (free form). S-au făcut observații referitoare la problemele apărute, atât în timpul procesului de scanare, cât și în timpul obținerii prin operații booleene a modelelor geometrice virtuale. Metodologia este aceeași pentru toate piesele, gradul de dificultate fiind dat de geometria piesei, de lungimea acesteia, de grosimea pereților piesei și de modul de alegere al sistemului de referință. Dificultăți deosebite au fost întâmpinate în cazul periei a cărei lungime a depășit aria de lucru a mașinii, fapt ce a condus la necesitatea și corelarea îmbinării a patru entități, spre deosebire de două, câte au fost necesare la celelalte piese.

Modelele geometrice obținute în urma scanării au fost comparate cu cele fizice (în urma unui control dimensional pe mașina de măsurat Tesa 3D). Prin intermediul unui soft specializat (I-Know Molding) s-au realizat părțile active ale matriței pentru piesele inițiale, pentru care nu aveam nici un fel de documentație tehnică.

Ultima parte a acestui capitol este dedicată fabricației uneia dintre piese (digitizator de mouse).

CONCLUZII, CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

Lucrarea se înscrie în contextul cercetărilor care au ca scop ameliorarea produselor rezultate din procesele de injectare a materialelor polimerice prin integrarea unor tehnici de CAD/CAM, Reverse Engineering, Prototipare Rapidă și Măsurări Tridimensionale.

Având în vedere obiectivele propuse, precum și stadiul actual al cunoașterii în domeniu, s-a considerat necesară structurarea cercetării în următoarele etape:

- o sinteză asupra specificității caracteristicilor și fabricației prin injectare a produselor din materiale plastice;
- o sinteză privind tehnicile de RE, sistemele de digitizare și tehnologiile de prototipare rapidă;
- cercetări experimentale desfășurate pe o platformă operațională definită pe criteriul versatilității maxime asociată cu costuri minime;
- îmbunătățiri ale platformei operaționale prin:
 - realizarea post-procesorului pentru mașina de prototipat rapid ISEL;
 - cercetări experimentale privind strategiile de obținere a unui prototip prin prototipare rapidă prin prelevare de material (frezare) și metodologia de realizare a modelelor geometrice pornind de la piese scanate (studii de caz).

Rezultatele studiilor teoretice și ale cercetărilor experimentale efectuate în cadrul tezei permit stabilirea următoarelor contribuții originale:

1. Realizarea unei **analize referitoare la specificitatea materialelor plastice** în obținerea prin injectare a diverselor produse. Se pune accent mai ales pe proiectarea cavității matriței, în contextul în care realizarea unei matrițe de injectare a materialelor plastice (plăci, duze, coloane, etc.) nu mai constituie un efort prea mare, datorită apariției și folosirii tot mai mult a cataloagelor standardizate (HASCO), concepția și fabricația matrițelor rămânând un proces de durată.

2. Se face o **analiză detaliată a tehnicilor de reverse engineering**, tehnici ce au fost dezvoltate datorită constrângerilor legate de satisfacerea cerințelor de calitate pentru diferitele etape ale proceselor de proiectare, reproiectare și fabricație. Cum produsele devin din ce în ce mai organice în formă, proiectarea în CAD poate deveni dificilă sau chiar imposibilă. Nu există garanție că modelul CAD va fi apropiat celui al modelului fizic: RE oferă soluția acestei probleme deoarece modelul fizic este sursa de informație pentru modelul CAD.

Un alt motiv pentru RE este de a comprima timpul necesar dezvoltării produsului. În cadrul pieței globale extrem de competitive fabricanții caută în mod constant noi metode de a reduce timpul de producție a unui nou produs.

3. Analiza stadiului actual în domeniul tehnicii de scanare 3D pornind de la stabilirea impactului acestor tehnici asupra dezvoltării produsului. Sunt prezentate particularitățile fiecărei tehnici cu avantajele și dezavantajele ei. Este prezentat de asemenea conceptul de Prototipare Rapidă precum și cele mai importante tehnici de prototipare rapidă. Se pune accent pe prototiparea rapidă prin prelevare de material – frezare, aceasta fiind la ora actuală soluția cu cel mai bun raport performanță/cost.

În acest context **s-a definit o platformă operațională completă** care include următoarele echipamente hard și soft (mașina de scanat și frezat Modela MDX 15, mașina de măsurat tridimensional TESA 3D, mașina de prototipat prin prelevare de material – frezare ISEL GFM 4433, RapidForm, 3D Reshaper, I-know Molding, EdgeCam).

4. S-au realizat cercetări privind **ameliorarea facilităților tehnice ale echipamentelor** prin planificarea unui experiment în scopul determinării repetabilității și reproductibilității mașinii de măsurat tridimensional TESA 3D.

Deoarece, una dintre problemele cu care s-a confruntat autorul a constat în imposibilitatea prelucrării suprafețelor complexe, s-au făcut cercetări pe această direcție, stabilindu-se totodată și o **metodologie de realizare a post-procesorului pentru mașina de frezat Isel**. De menționat că această metodologie poate fi aplicată cu succes pe orice mașină CNC, eliminându-se astfel costurile **destul** de ridicate legate de scrierea de către programatori a acestor post-procesoare.

5. S-a stabilit o **metodologie de lucru proprie** funcție de dotările platformei operaționale. Totodată s-a realizat un studiu de caz prin utilizarea opțiunii "Mold Tool" pentru modelarea geometrică a cavităților matrițelor de injectare sub mediul "Solid Works 2006", studiu ce prefațează cercetările ulterioare.

Aceasta metodologie de obținere a cavităților matrițelor se poate aplica doar dacă modelul geometric este solid. Pentru exemplul de mai sus s-a realizat **programul de comandă numerică** (uzându-se de toate **strategiile** posibile de lucru), respectiv **fabricația cavităților matriței**.

6. S-a prezentat o **metodologia de realizare a modelelor geometrice** pornind de la piese scanate și finalizându-se cu prelucrarea uneia dintre ele. Piesele supuse studiului au fost de complexitate ridicată (free-form), iar rezultatele obținute în condițiile folosirii echipamentelor din dotare, ale căror costuri sunt mult sub valoarea altor echipamente similare (scanare laser, centre de prelucrare cu CNC) justifică importanța acestei cercetări.

Studiile și cercetările efectuate au condus la deschiderea unor noi direcții de cercetare, care urmează a fi abordate în viitor:

1. Ținând cont de faptul că tehnicile de prototipare rapidă evoluează de la an la an într-un ritm alert o direcție de dezvoltare ar fi cea a fișierelor STL, dezvoltarea acestor fișiere în cadrul programelor tradiționale CAD, posibilitatea de a putea interveni asupra lor.
2. Automatizarea alinierii entităților, lucru ce ar duce la obținerea unor modele geometrice a căror eroare ar fi dată numai de instrumentul de scanat.

3. Îmbunătățirea performanțelor pentru sistemele existente, atât hardware cât și software punându-se accent pe automatizarea proceselor. Un aspect particular, de interes deosebit, ar putea fi studiul pentru mărirea capacității operaționale a mașinilor de prototipat rapid prin prelevare de material.

BIBLIOGRAFIE

- [3DR 07] Available at: <http://www.3dreshaper.com>
- [ACQ 97] Acquisition au service de l'industrie 3D, N°19 - Septembre-Octobre-Novembre 97
- [ADA 03] LARRY ADAMS - CMM Programming Saves Time and Money, Quality Magazine, May 20, 2003
- [AFNOR] Norme AFNOR NFT 53035
- [ANO 01] ANONYMOUS - Designing forward and back, *Tooling & Production*; May 2001; 67, 2; ProQuest Science Journals, pg. 75
- [ARP 07] ARPTECH Rapid Prototyping Services, Guidelines for creating STL (stereolithography) File from your CAD system, available at: <http://www.arptech.com.au/stlspecs.htm>
- [BAY 07] BAYER - Part and Mold Design, A Design Guide, <http://www.bayermaterialsscienceafrica.com>
- [BRA 05] BRADLEY C., CURRIE B. - Advances in the Field of Reverse Engineering, Computer-Aided Design & Applications, Vol. 2, No. 5, 2005, pp 697-706
- [CEEX 05] Contract de Excelență - CEEX nr.41/2005, Materiale Noi, Micro și Nanotehnologii - MATNANTECH, Director Tudor ICLĂNZAN.
- [CEEX 06] Contract de Excelență - CEEX Nr.130/2006, Materiale, Tehnologii Si Echipamente Pentru Profilări Plane și Spațiale - MATEPROF, Director Tudor ICLĂNZAN.
- [CHA 05] CHANESKI W. - Competing Ideas Reverse Engineering-A Valuable Service, MMS Online, <http://www.mmsonline.com/articles/0298ci.html>
- [CHA 06] KUANG-HUA CHANG, ZAHED SIDDIQUE, MANGESH EDKE, ZHIQIANG CHEN - An Integrated Testbed for Reverse Engineering of Aging Systems and Components, Computer-Aided Design & Applications, Vol. 3, Nos. 1-4, 2006, pp 21-30
- [CHE 99] Y. H. CHEN, C. T. NG, Y. Z. WANG - Generation of an STL File from 3D Measurement Data with User-Controlled Data Reduction, Int J Adv Manuf Technol (1999) 15:127-131, 1999 Springer-Verlag London Limited
- [CLE 05] Bradley Cleveland - Plastic Prototyping: How Methods Measure Up, Industrial Control Design, 07/13/2005, <http://www.industrialcontroldesignline.com/showArticle.jhtml;jsessionid=V0YAC4KPEKWE0QSNLPSKHSCJUNN2JVN?articleID=164302497&queryText=mold+rapid+tooling>
- [CNC 07] CNC Programming FAQ - NFR Partners, Inc., <http://www.nfrpartners.com/cncfaq.htm#whatisapt>
- [CNCSIS 201] Contract nr. 32940 tema 24/2004, tema 31/2005, Contract nr.A1/GR181/19.05.2006 tema 38, cod CNCSIS 201, Reingineria produselor pe baza tehnicilor de prototipare rapidă și măsurare tridimensională, Director Aurel TULCAN.
- [CNCSIS 85] Contract de cercetare nr.58GR / **19.05.2006**, tema 5, cod CNCSIS 85, Studii experimentale în vederea creșterii calității produselor din materiale polimerice folosind procesul de reverse engineering, Director Cristian COSMA.
- [COS 04] **COSMA C.**, DUME A., ICLANZAN T. - Conception Simulation and Manufacturing by Rapid Prototyping (3D Printing) - Academic Journal of Manufacturing Engineering, Vol 2, Nr.4/2004, p21

- [COS 05a] **COSMA C.**, DUME A., ICLANZAN T. - Manufacturing Methodology for the Milling Rapid Prototyping Process - 2nd VIDA International Conference "Virtual Design and Automation" Poznan (Poland) 28-29 November 2005, <http://www.vida.put.poznan.pl/conference>.
- [COS 05b] **COSMA C.**, STAN D., ICLANZAN T. - Reverse engineering and scanning technics in plastic tools - Academic Journal of Manufacturing Engineering, Vol 3, Nr.2/2005, p12
- [COS 05c] **COSMA C.**, TULCAN A., ICLANZAN T. - The Choosing Algorithm for the Coordinating Measuring Machines - Academic Journal of Manufacturing Engineering, Vol 3, Nr.3/2005, p21
- [COS 06 a] **COSMA C.**, DUME A., PAMINTAS E., ICLANZAN T. - Machining improvement of milling rapid prototyping processes, Proceedings of the International Conference on Manufacturing Systems ICMA S, 26-27 October 2006, Bucharest, Romanian Academy Publishing House, ISSN 1842-3183, pp.236
- [COS 06 b] **COSMA C.**, ICLANZAN T., DUME A., TULCAN A. - Rapid Prototyping for Reverse Engineering, Academic Journal of Manufacturing Engineering, vol.4, no2/2006, ISSN 1583-7904, pp. 17-22
- [CUR 03] WILL CURTIS - The Addition of Subtraction, Time-Compression, march/april 2003
- [CUR 07] CURTIS W. - The Addition of Subtraction, Timecompress Magazin http://www.timecompress.com/magazine/magazine_articles.cfm?article_id=216&iss ue_id=66&articles=216
- [CUR 97] BRIAN LEE CURLESS - New methods for surface reconstruction from range images, A dissertation submitted to the department of electrical engineering and the committee on graduate studies of Stanford University, June, 1997
- [DEL 91] DELBARRE P., These de doctorat. Universite des Science et Techniques de Lille Flanders Artois, 1991
- [DES 07] The DeskProto approach offers true Concept Modelling, Prototyping Technology International, 1998, (pp 110-114), <http://www.deskproto.com/download/articleprottechtint98.htm>
- [DIG 05] - DIGITALISATION ET CONTROLE DES FORMES COMPLEXES, www.casimir.org/IMG/pdf/45-digitalisation.pdf
- [EDG 07] Available at: <http://www.edgecam.com>
- [FEN 00] CHANG-XUE (JACK) FENG, SHANG (SAM) XIAO - Computer-aided reverse engineering with CMM for digitization and LOM for duplication, Proceedings of the 4th Int'l Conference on Frontiers of Design and Manufacturing, Int'l Academic Press June 2000, Beijing, China, pp. 256-262.
- [FER 01] JOSÉ M. G. CARVALHO FERREIRA, ARTUR J. SANTOS MATEUS, NUNO M. FERNANDES ALVES, PEDRO M. C. CUSTÓDIO - Integrated product and tooling development via reverse engineering methodologies and rapid prototyping techniques, 3º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto Florianópolis, SC - 25-27 Setembro de 2001
- [FER 03] J.C. FERREIRA, N.F. ALVES - Integration of reverse engineering and rapid tooling in foundry technology, Journal of Materials Processing Technology 142 (2003) 374-382, Elsevier
- [FIR 02] FIREMAN J. - CAM Programming System More Than Doubles Machining Productivity-Productivity doubled for Tour de France component manufacturer through the use of knowledge-based machining, Timecompress Magazin, available at: http://www.timecompress.com/magazine/magazine_articles.cfm?article_id=189&iss ue_id=66&articles]

- [HAS 07] HASENAUER J., KÜPER D., LAUMEYER J. E., WELSH I. – Tolerances, Top Ten Design Tip: A Series of 10 Articles, http://plastics.dupont.com/myplastics/Mediator?id=518&locale=en_US
- [HOL 06] STEPHEN M. HOLLISTER - Reverse Engineering, N.A., P.E. New Wave Systems, Inc., <http://www.pilot3d.com/Reverse%20Engineering.htm>
- [HU 02] WEIGANG HU, SYED MASOOD - An Intelligent Cavity Layout Design System for Injection Moulds, International Journal of CAD/CAM, 2002, Vol. 2, No. 1, pag. 69-75, [http://www.ijcc.org/on-line2\(pdf\)/pdf/2\(1\)69-75.pdf](http://www.ijcc.org/on-line2(pdf)/pdf/2(1)69-75.pdf)
- [HUS 06] HUSELIUS J. - A presentation layout for my lecture on re-engineering in the Legacy Course, December 13, 2006, www.idt.mdh.se/kurser/legacy/re-engineering.pdf
- [FUD 06] FUDOS I. - CAD/CAM Methods for Reverse Engineering: A Case Study of Re-engineering Jewelry, Computer-Aided Design & Applications, Vol. 3, No. 6, 2006, pp 683-700
- [ICL 03] ICLANZAN T. – PLASTURGIE-Tehnologia Prelucrării Materialelor Plastice, Ed. Politehnica, Timisoara, 2003
- [ICL 06] ICLANZAN T. – Tehnologia Prelucrării Materialelor Plastice și Compozite, Ed. Politehnica, Timisoara, 2006
- [ICL 95] ICLANZAN T., PLASTURGIE – Tehnologia Prelucrării Materialelor Polimerice, Universitatea Politehnica Timisoara, 1995
- [INT 06] Introduction to Thermoforming - Plastic Materials, <http://www.crclarke.co.uk/Support/pdf/thermo.pdf>
- [ISE 07] Available at: <http://www.iselautomation.de/products/product.php?lang=en&ID=p90>
- [ISO] Norme ISO 2577
- [KAI 98] CHUA CHEE-KAI, LEONG KAH-FAI - Rapid prototyping and manufacturing: the essential link between design and manufacturing, Integrated Product and Process Development, Edited by John Usher, Utpal Roy, and Hamid Parsaei, ISBN 0-471-15597-7, 1998 John Wiley & Sons, Inc.
- [KNO 07] Available at: <http://www.ccim.nl>
- [KUM 97] VINOD KUMAR, DEBASISH DUTTA - An assessment of data formats for layered manufacturing, Dept. of Mechanical Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109-2125, USA (Received for publication 14 October 1996) Advances in Engineering Software 28 (1997) 151-164, Elsevier
- [LEE 01] K. H. LEE, H. WOO AND T. SUK - Data Reduction Methods for Reverse Engineering, Int J Adv Manuf Technol (2001) 17:735-743, 2001 Springer-Verlag London Limited
- [LEN 00] LEX LENNINGS - Selecting Either Layered Manufacturing or CNC Machining to Build Your Prototype, Rapid Prototyping and Manufacturing 2000" Conference, organized by SME/RPA in Rosemont (Chicago), April 2000
- [LEN 07] LEX LENNINGS - RP whit CNC, Prototyping in practice, <http://www.deskproto.com/files/rpwithcnc.pdf>
- [LI 01] L. LI, N. SCHEMENAUER, X. PENG, Y. ZENG, P. GU – A reverse engineering system for rapid manufacturing of complex objects, Robotics and Computer Integrated Manufacturing 18 (2002) 53-67
- [MAI 95] SARA ANNE MCMAINS - Rapid Prototyping of Solid Three-Dimensional Parts, 1995
- [MAL 94] MALLOY R.A. – Plastic Part Design for Injection Molding, Hanser Publishers, Munich, 1994
- [MAR 05] Marketing Technologies - Pressure Forming / Thermoforming Design Guide, <http://www.marketingtech.com/designguide/dgpartdes.htm>

- [MAS 00] S. H. MASOOD, W. RATTANAWONG, P. IOVENITTI - Part Build Orientations Based on Volumetric Error in Fused Deposition Modelling, *Int J Adv Manuf Technol* (2000) 16:162-168, 2000 Springer-Verlag London Limited
- [MAT 06] MATTESON D, KULIBERT R, MATTESON D, OSWEGO S - Learning through Reverse Engineering, www.oswego.edu/~dmatteso/r_eng.ppt
- [MOD 05] THOMAS MODEEN - CAD/CAMing The use of rapid prototyping for the conceptualization and fabrication of architecture, *Automation in Construction* 14 (2005) 215- 224, Elsevier
- [MOD 07] Available at: <http://www.spline.nl/machines/mdx15-20.html>
- [MUR 07] - MURRAY P.J. - Rapid Software Prototyping, CodeFutures Software, available at: <http://www.codefutures.com/weblog/corporate/archives/2006/01/rapid-software-prototyping.html>
- [MYM 07]- MYMUDES S. - Reverse engineering - Digital boost to and from rapid prototyping, *Quality in Manufacturing*
http://www.manufacturingcenter.com/qm/archives/0404/0404_reverse.asp
- [NIC 00] PRATIK E. NIKAM - Application of subtractive rapid prototyping to the design and manufacture of rapid solidification process tooling, Spring, 2005
- [NOR 01] ANDREW NORTON - Rapid Product Development and Late Customisation for Manufacturing SMEs, Published in 2001 by PRIME Faraday Partnership Wolfson School of Mechanical and Manufacturing Engineering Loughborough University, Loughborough, Leics LE11 3TU, ISBN 1-84402-015-0
- [ONU 99] S . O . ONUH, Y. Y. YUSUF - Rapid prototyping technology: applications and benefits for rapid product development, *Journal of Intelligent Manufacturing* (1999) 10, 301-311
- [PAH 05] I. PAHOLE, I. DRSTVENSEK, M. FICKO, J. BALIC - Rapid prototyping processes give new possibilities to numerical copying techniques, *Journal of Materials Processing Technology* 164-165 (2005) 1416-1422, Elsevier
- [PAM 04] PAMÎNȚAȘ E., RĂDULESCU C., DUME A., **COSMA C.** - Computer Aided Improving of NC Programming for Classic NC Machine Tools, *Academic Journal of Manufacturing Engineering*, Vol 2, Nr.4/2004, p53
- [PAR 07] Parteneriate In Domeniile Prioritare - Nr. 71-133 /01.10.2007, *Sisteme Expert De Optimizare A Proceselor Tehnologice*, Director Tudor ICLĂNZAN.
- [PLA 06] Plastic Injection Molding, <http://www.iqsdirectory.com/plastic-molding>
- [PLA 07] - PLASTIC WELDING: Prototyping, *Plastics Distributor® & Fabricator Magazine*, volume 22, issue 6, article no. 3400,
<http://www.plasticmag.com/ta.asp?aid=3400>
- [PRO 07] Prototyping & Modeling, available at: <http://www.shopbottools.com/prototyping.htm>
- [RPD 07] Available at: <http://www.rapidform.com>
- [RAP 07] Rapid Prototyping: Principles and Applications,
http://www.worldscibooks.com/engineering/etextbook/5064/5064_chap1.pdf
- [RED 06] T. A. JANARDHAN REDDY Y. RAVI KUMAR C.S.P. RAO- Determination of optimum process parameters using taguchi's approach to improve the quality of sls parts, *Proceedings of the 17 th IASTED International Conference MODELLING AND SIMULATION*, May 24-26, 2006, Montreal, QC, Canada
- [REE 02] REES H. - *Mold Engineering*, Second Edition, Hanser Publishers, Munich, 2002
- [REN 00] [Renishaw-H-2000-3120.pdf](http://www.renishaw.com), www.renishaw.com
- [REN 01]- [Renishaw-H-2000-3120](http://www.renishaw.com), www.renishaw.com
- [REN 04] www.renishaw.com

150 BIBLIOGRAFIE

- [REV 04] Reverse Engineering, QC Inspection Services, Inc
<http://www.qcinspect.com/rev.htm>
- [RIN 02] MICHAEL J. RING - Userguide for reverse engineering technology, 2002
- [RYA 07] CHRIS RYALL, DAVID WIMPENNY - Rapid Prototyping For Rapid Castings,
<http://www.jharper.demon.co.uk/rptc01.htm>
- [RYD 02] RYDER, GERARD, BILL ION, GRAHAM GREEN, DAVID HARRISON, BRUCE WOOD - Rapid Design and Manufacture Tools in Architecture, Automation in Construction 11 (2002): 279-290
- [SCA 06] Scan and digitize to cut mold leadtime - Tooling & Production
<http://toolingandproduction.com/archives/0298/0298mm3.html>
- [SHA 99]- SHANKAR N. K. - Design, prototype via reverse engineering , Tooling & Production, May 99,
<http://www.manufacturingcenter.com/tooling/archives/0599/599ss.asp>
- [SOK 06] SOKOVIC M., KOPAC J. - RE (reverse engineering) as necessary phase by rapid product development, Journal of Materials Processing Technology 175 (2006) 398-403, Elsevier
- [STA 03] STAN D., **COSMA C.**, ICLANZAN T.- Algorithmme de Control de la Qualites Produits Injectes, Academic Journal of Manufacturing Engineering, Septembrie 2003, Vol. I, Nr. 4, pag. 51
- [STI 01] STIER K., BROWN R - Integrating Rapid Prototyping Technology into the Curriculum, Journal of Industrial Technology, Volume 17, Number 1, November 2000 to January 2001
- [TEC 07] Available at: <http://www.techno-isel.com/H840/HTML/H840p010.html-02.11.2005-ora 18.08>
- [VÁR 96] TÁMAS VÁRADY, RALPH R. MARTIN, JORDAN COX - Reverse Engineering of Geometric Models – An Introduction, 13 May 1996
- [WIL 02] JOHN WILEY & SONS, INC. M. P. GROOVER, "Fundamentals of Modern Manufacturing 2/e", 2002
- [WOR 07] Worldwide Guide to Rapid Prototyping,
<http://home.att.net/~castleisland/sl.htm>
- [WU 04] Y.F. WU, Y.S. WONG, H.T. LOH, Y.F. ZHANG - Modelling cloud data using an adaptive slicing approach, Computer-Aided Design 36 (2004) 231-240, Elsevier
- [ZHA 03] YU ZHANG - Research into the engineering application of reverse engineering technology, Journal of Materials Processing Technology 139 (2003) 472-475, Elsevier.
- [ZOR 03] F. ZORRIASSATINE, C. WYKES, R. PARKIN, N. GINDY - A survey of virtual prototyping techniques for mechanical product development, Proc. Instn Mech. Engrs Vol. 217 Part B: J. Engineering Manufacture, 2003